

Universität Zürich
Zentrum für Zahnmedizin
Klinik für Kieferorthopädie und Kinderzahnmedizin (KO/KZM)
Direktor: Prof. Dr. Theodore Eliades

Arbeit unter Leitung von Dr. med. dent. Hubertus van Waes

**Nutzen des DIAGNOcam[®]-Verfahrens zur Kariesdetektion und –diagnose im
Milchgebiss. Vergleich mit klinischen und radiologischen Methoden.
Literaturübersicht und retrospektive Studie**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin
an der Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von
Assunta Villano

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. Theodore Eliades
Zürich 2017

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	5
Hintergrund.....	5
Wissenschaftliche Fragestellung	5
Methoden	5
Ergebnisse.....	6
Diskussion	6
Relevanz für die Praxis.....	6
2 Einleitung	7
3 Literaturübersicht	8
3.1 Anatomie des Zahnes und der Zahnhartsubstanzen	8
3.1.1 Schmelz.....	8
3.1.2 Dentin.....	9
3.1.3 Morphologische Besonderheiten der Milchzähne.....	11
3.2 Karies	12
3.2.1 Ätiologie, Lokalisation und Epidemiologie	12
3.2.2 Histologie der Karies	14
3.2.2.1 Schmelzkaries	14
3.2.2.2 Dentinkaries	15
3.2.3 Besonderheiten der Karies im Milchgebiss	16
3.3 Differentialdiagnose zwischen Karies und andere Veränderungen.....	17
3.4 Diagnostische Verfahren	17
3.4.1 Visuell-taktile Verfahren.....	18
3.4.1.1 Funktionsprinzip	18
3.4.1.2 Vorteile und Nachteile	18
3.4.2 Röntgenologische Verfahren.....	19
3.4.2.1 Bitewings oder Bissflügelröntgentechnik	19
3.4.2.1.1 Aufbau und Funktionsprinzip	19
3.4.2.1.2 Vorteile und Nachteile	20
3.4.3 Instrumentelle und instrumentell-optische Verfahren	21
3.4.3.1 Elektrische Widerstandmessung	21
3.4.3.1.1 Aufbau und Funktionsprinzip	21
3.4.3.1.2 Vorteile und Nachteile	22

3.4.3.2 Faseroptische Transillumination (FOTI) und digitale faseroptische Transillumination (DIFOTI)	22
3.4.3.2.1 Aufbau und Funktionsprinzip	22
3.4.3.2.2 Vorteile und Nachteile	23
3.4.4 Fluoreszenzbasierte Verfahren.....	24
3.4.4.1 VistaProof® (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Deutschland)	24
3.4.4.1.1 Aufbau und Funktionsprinzip	24
3.4.4.1.2 Vorteile und Nachteile	25
3.4.4.2 DIAGNOdent® pen (Kavo, Biberach, Deutschland)	26
3.4.4.2.1 Aufbau und Funktionsprinzip	26
3.4.4.2.2 Vorteile und Nachteile	27
3.4.5 DIAGNOcam® 2170 (Kavo, Biberach, Deutschland)	28
3.4.5.1 Aufbau und Funktionsprinzip	28
3.4.5.2 Vorteile und Nachteile	29
3.5 Besonderheiten der verschiedenen Diagnoseverfahren für das Milchgebiss	30
4 Ziele der Arbeit	33
5 Materialien und Methoden	35
5.1 Literaturrecherche.....	35
5.2 DIAGNOcam® 2170.....	35
5.3 Methoden	36
5.3.1 Auswertung	38
5.4 Dokumentation und Datenschutz.....	40
6 Ergebnisse	41
6.1 Beschreibung des Patientenguts	41
6.2 Auswertung der Läsionen.....	41
6.3 Übereinstimmung jeder diagnostischen Methode zwischen Untersucher – Reproduzierbarkeit	42
6.4 Übereinstimmung der beiden diagnostischen Methoden – Zuverlässigkeit.....	42
6.5 Faktoren assoziiert mit der Zuverlässigkeit der DIAGNOcam®	42
7 Diskussion	44
8 Relevanz für die Praxis	49
9 Literaturverzeichnis.....	50
10 Tabellen	56

11 Abbildungen	68
12 Danksagungen	81
13 Deklaration der Eigenleistung	81
14 Curriculum Vitae	82

1 Zusammenfassung

Hintergrund

Karies ist die weltweit verbreitetste Infektionskrankheit. Seit der Einführung von fluoridhaltigen Produkten ist in den industrialisierten Ländern der Kariesbefall deutlich reduziert. Trotzdem bleibt eine bestehende Kariesprävalenz primär in klinisch visuell nicht einsehbaren Bereichen der Zähne. Diese Änderung des Schwergewichtes der Lokalisation der kariösen Läsionen und die Fortschritte in der Kariesprävention und -therapie führten zusammen mit der heute höheren Sensibilität der Bevölkerung für strahlbedingte Schäden vitaler Gewebe zur Einführung neuer Systeme zur Kariesdetektion.

Die Entwicklung hin zu eher präventiven und minimalinvasiven Massnahmen zur Kariestherapie erhöht die Notwendigkeit neuer Diagnostiksysteme, die die kariösen Läsionen frühzeitig erkennen können. Das führte unter anderem zur Entwicklung des DIAGNOcam[®]-Systems, einem Gerät, das mittels nahinfrarotem, gepulstem Licht den Zahn und seine kariösen Läsionen durchstrahlen und auf einem Computerbildschirm darstellen kann. Wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens ist die Abwesenheit von schädlichen gesundheitlichen Nebenwirkungen, sowie dem einfach verständlichen, speicherbaren Bild.

Wissenschaftliche Fragestellung

Mehrere Studien wurden bereits zur Validierung des DIAGNOcam[®]-Verfahrens für die bleibende Dentition durchgeführt. Die Fragestellung dieser retrospektiven Studie fokussiert sich auf die Nutzung des DIAGNOcam[®]-Systems und seiner Aussagekraft im Milchgebiss. Aufgrund völlig fehlender gesundheitsschädigender Nebenwirkungen dieses Verfahrens wäre die Anwendung bei Kindern und Jugendlichen besonders sinnvoll, um eine Reduktion der Exposition an ionisierenden Strahlen in diesem empfindlichen Altersbereich zu ermöglichen.

Methoden

Eine erweiterte Literatursuche wurde in der Bibliothek des Zentrums für Zahnmedizin der Universität Zürich, sowie in der medizinische Datenbank PubMed durchgeführt.

Die DIAGNOcam[®] wird seit September 2014 an der Klinik für Kinderzahnmedizin der Universität Zürich regelmässig in Kombination mit anderen Verfahren zur Kariesdiagnostik eingesetzt: Anschliessend an die regulären klinisch/optischen sowie bei Bedarf radiologischen

Untersuchungen werden die Milchzähne bei geschlossenen Approximalkontakten zusätzlich mit der DIAGNOcam[®] untersucht. Die dabei gewonnenen Daten wurden für diese klinische retrospektive Studie in anonymisierter Form verwendet. Die Unterlagen (25 Patienten und 105 Approximalflächen) wurden durch drei verschiedene Untersucher bezüglich Karies ausgewertet. Die Auswertungen wurden statistisch hinsichtlich Sensitivität und Spezifität des DIAGNOcam[®]-Gerätes in Vergleich zu den Röntgenbildern validiert.

Ergebnisse

Die statistische Auswertung zeigt eine grosse Übereinstimmung der drei Untersucher für die Interpretation der Röntgenbilder und eine schwache Übereinstimmung für die DIAGNOcam[®]-Bilder. Die Übereinstimmung zwischen den zwei Methoden ist eher schwach. Die Übereinstimmung zwischen den Methoden für die Oberkiefermilchmolaren ist besser als die für die Unterkiefermilchmolaren. Ein Einfluss anderer Faktoren wurde nicht gefunden.

Diskussion

Studien bezüglich des Einsatzes der DIAGNOcam[®] im bleibenden Gebiss wurden bereits mehrere durchgeführt, für das Milchgebiss fehlen sie hingegen.

Die vorliegende retrospektive Studie zeigte, dass die Kariesdiagnostik mittels DIAGNOcam[®] in der Milchdentition der konventionellen Diagnostik mit Röntgenbildern unterlegen war. Gründe für das schlechtere Abschneiden der DIAGNOcam[®] im Vergleich zur Anwendung im bleibenden Gebiss konnten nicht identifiziert werden. Wahrscheinlich liegt der Hauptgrund in der Morphologie der Milchmolaren sowie in der anderen Lichtleitung innerhalb des Alveolarfortsatzes, wo die Anlagen der bleibenden Dentition sowie verschieden ausgeprägte Resorptionen der Milchzahnwurzeln vermutlich einen Einfluss haben.

Relevanz für die Praxis

Die Akzeptanz seitens Kinder und deren Eltern ist gemäss unserer Erfahrung gut. Der Vorteil der noch nicht völlig klaren Aussagekraft der DIAGNOcam[®]-Bilder in der Milchdentition wird zum Teil wettgemacht durch das Fehlen schädlicher Strahlung, sodass die Aufnahmen beliebig oft wiederholt werden können, um Veränderungen über einen gewissen Zeitraum erkennen zu können. Für den Zahnarzt ist eine gewisse Lernphase sowohl für das klinische Handling als auch für die Interpretation der Bilder notwendig. Um die Indikation dieses Gerätes für das Milchgebiss zu konsolidieren, sind weitere Studien notwendig.

2 Einleitung

Eine der wichtigsten Aufgaben der zahnärztlichen Betreuung von Kindern und Jugendlichen ist die frühzeitige Erkennung von kariösen Läsionen. Die korrekte Diagnose bildet die Grundlage für den Entscheid für präventive oder konservierende Maßnahmen.

Die klassische Diagnose bedient sich visueller und radiologischer Methoden. Die Vor- und Nachteile dieser Methoden sind bestens bekannt und die Sensitivität und Spezifität in zahlreiche Studien dokumentiert.

In den letzten Jahrzehnten sind verschiedene neue Karies-Diagnosetechniken klinisch getestet worden. Heute hat ein Zahnarzt ein breites Spektrum an Diagnosemöglichkeiten zur Verfügung [ABOGAZALAH et al. 2017].

Die sich stetig verbessernde Zahngesundheit führt dazu, dass immer weniger klinisch manifeste, offene kariöse Läsionen vorhanden sind. Heutzutage besteht die Herausforderung vor allem darin, kariöse Läsionen an versteckten Lokalisationen, wie z. B. den Zahnzwischenräumen oder unter verfärbten Fissuren an Kauflächen korrekt zu diagnostizieren.

Dadurch verlieren die visuell-taktilen Methoden zunehmend an Bedeutung. Stattdessen nutzt man vermehrt instrumentelle und radiologische Methoden.

Zudem wird aus wissenschaftlicher Sicht heute eine kontinuierliche Verlaufsdagnostik insbesondere an beginnenden kariösen Läsionen gefordert. Dies ist bei vielen konventionellen Methoden - z. B. Röntgen - wegen ihrer bekannten Nachteile nur mit Einschränkungen möglich.

Aus den oben genannten Gründen werden darum neue, nachteilarme Systeme entwickelt. Insbesondere wurden in den letzten 15 Jahren Alternativmethoden wie z. B. basierend auf Fluoreszenz, Transillumination und elektrischer Widerstandsmessung vermehrt getestet.

Das Bedürfnis nach genaueren diagnostischen Methoden mit möglichst wenig Nebenwirkungen, gekoppelt mit dem Wunsch einer Speicherung des Befundes, führte unter anderem zur Entwicklung der DIAGNOcam[®]. Es handelt sich hierbei um ein nichtinvasives, bildgebendes Verfahren auf der Basis einer Transillumination der Zahngewebe mit Licht im Nahinfrarotbereich.

3 Literaturübersicht

3.1 Anatomie des Zahnes und der Zahnhartsubstanzen

Um die Arbeitsweise der DIAGNOcam[®] zu verstehen, ist ein Blick auf die Struktur und die mikroskopische Anatomie eines Zahnes nötig.

Jeder Zahn besteht aus einer Zahnkrone und einer oder mehreren Wurzeln. Krone und Wurzeln sind in mehreren Schichten aufgebaut. Bei einem gesunden Zahn bedeckt der Zahnschmelz das koronale Zahndentin vollständig. Das Dentin, wiederum, umschliesst bis zum Wurzelapex die Zahnpulpa [ZOHRABIAN et al. 2015].

Zu jedem Zahn des menschlichen Gebisses, sei es ein bleibender oder einen Milchzahn, gehört eine seiner Aufgabe entsprechende spezifische Form.

Die menschlichen bleibenden Schneidezähne zum Beispiel haben eine, lange und in die bukkale-linguale Richtung dünne Krone, sowie in den meisten Fällen nur eine lange und ovale Wurzel.

Die Prämolaren weisen der Ansicht von Okklusal eine mehr oder weniger rundliche bis ovale Kronenform mit zwei bis drei Höcker auf.

Die bleibenden Molaren sind bei gleicher Ansicht fast viereckig und haben drei bis fünf Höcker mit zwei bis drei Wurzeln.

Für die Kariesdiagnostik sind die makro- und die mikroskopischen Veränderungen in den zwei äussersten Schichten eines Zahnes, dem Schmelz und das Dentin, sehr wichtig. In den zwei nächsten Unterkapiteln werden die makroskopischen und mikroskopischen Besonderheiten dieser zwei Hartgewebe mit Blick auf die Relevanz für die Kariesdiagnostik besprochen.

3.1.1 Schmelz

Der Schmelz ist eine zellfreie Zahnhartsubstanz, die das Kronendentin vollständig bedeckt.

Die chemische Zusammensetzung beträgt ca. 95% anorganische Bestandteile (Kalzium, Phosphat, andere Spurelemente), ca. 1% organische Bestandteile (Proteine, Lipide, andere) und ca. 4% Wasser [HELLWIG et al. 2013].

Bauelemente des Schmelzes sind die Hydroxyapatit-Kristalliten ($((\text{Ca}_{10-x}\text{PO}_{6-x}) \times \text{X}_2 \times \text{H}_2\text{O})$), die in Schmelzprismen (mit Ausnahme der oberflächlichsten Schicht (20-80 μm), der prismenfrei ist) spezifisch angeordnet sind (100 Apatitkristalliten bilden ein Schmelzprisma). Zellen oder Zellbestandteile sind dort nicht vorhanden. Als weitgehend anorganische Substanz verfügt der Schmelz, im Gegensatz Dentin und Pulpa, über keine biologischen Abwehrmöglichkeiten.

Charakteristisches Strukturmerkmal des Schmelzes ist der Verlauf der Schmelzprismen, die allgemein senkrecht zur Schmelzoberfläche, etwas von innen zervikal nach aussen okklusal und gewellt und um einander verschlungen laufen.

Als physikalische Merkmale weist der Schmelz hohe Härte, aber auch hohe Sprödigkeit und Brüchigkeit, glasige Transparenz, begrenzte Permeabilität (z.B. für Fluoridionen oder Farbstoffe) und Anisotropie auf.

Die Dicke des Schmelzmantels variiert innerhalb der Zahnkrone je nach Lokalisation und Zahnform. An der Höckerspitze oder im Bereich der Inzisalkante ist sie in der Regel am dicksten, während sie am Zahnhals nur einige Mikron dick sein kann. In den Milchzähnen ist der Schmelzmantel im Allgemeinen nur halb so dick wie bei den bleibenden Zähnen [SCHROEDER 1976].

3.1.2 Dentin

Das Dentin ist ein vitales und mineralisiertes Hartgewebe, das den grossen Anteil des Zahnes zwischen Schmelz und Pulpa umfasst.

Die chemische Zusammensetzung beträgt ca. 70% anorganische Bestandteile (Phosphat, Kalzium und andere Spurenelemente), ca. 20% organische Bestandteile (Kollagen und kollagenartige Verbindungen) und ca. 10% Wasser [HELLWIG et al. 2013].

Dentin besteht aus Zellbestandteilen, extrazellulärer Matrix und ebenso wie der Zahnschmelz aus Hydroxyapatit. Die Kristallite sind aber kleiner und dünner als im Schmelz und nicht in

Prismenform geordnet, sondern mehr oder weniger dicht gepackt. Im Gegensatz zum Schmelz weist das Dentin -solange die Pulpa vital ist- eine gewisse „Abwehrmöglichkeit“ auf und kann lebenslang, also auch nach Abschluss der Zahnbildung weiter als peritubuläres Dentin (siehe unten) produziert werden.

Strukturmerkmale dieses lebenden Gewebes sind die Dentinkanälchen und die verschiedenen Dentinschichten. Dentinkanälchen laufen im koronalen Bereich s-förmig, im Wurzelbereich geradlinig von der Pulpa nach aussen bis zur Schmelz-Dentingrenze. In den Kanälchen befinden sich die Odontoblastenfortsätze. Sie sind im periodontoblastischen Raum von Flüssigkeit und organischen Strukturelementen umgeben. Das peritubuläre Dentin umgibt die Dentinkanälchen und das intertubuläre Dentin füllt die Zwischenräume auf. Das peritubuläre Dentin ist homogen, dicht, stark mineralisiert und röntgenopak [SCHROEDER 1976]. Kollagenen Fasern machen ca. 10-Volumenprozent aus und ca. 90-Volumenprozent sind Kristalliten. Das intertubuläre Dentin ist im Vergleich zum peritubulären Dentin weniger dicht mineralisiert und enthält ca. 50-Volumenprozent kollagene Fasern, die flechtwerkartig quer zur Verlaufsrichtung der Dentinkanälchen angeordnet sind und diese umgarnen [SCHROEDER 1976].

Die Dicke des Dentins variiert je nach Lokalisation und Zahnform.

Als äusserste Schicht, unmittelbar an der Schmelz-Dentin-Grenze, findet sich das Manteldentin. Charakteristisch für diese maximal 100µm dicke Schicht sind die zahlreichen Gabelungen odontoblastischer Fortsätze. Diese Schicht ist heterogen und weist einen im Vergleich zum intertubulären Dentin niedrigen Mineralgehalt auf. Nach innen anschliessend an das Manteldentin, folgt das zirkumpulpale Dentin bis zur Zone der Mineralisation und Pulpa-Dentin-Grenze.

Die physikalischen Merkmale des Dentins sind die Hochelastizität und die Verformbarkeit. Die Härte ist niedriger als beim Zahnschmelz. Die „Porosität“, und darum die Permeabilität, sind höher. Dentin besitzt eine gelbliche Eigenfarbe und ist optisch doppelbrechend (Überlagerung der Effekte von Kollagen und Hydroxyapatit) [SCHROEDER 1976].

3.1.3 Morphologische Besonderheiten der Milchzähne

Milchzähne sind in vielerlei Hinsicht sehr ähnlich zu den bleibenden Zähnen z.B. in ihrer Stellung und ihrer Funktion innerhalb des Gebisses, trotzdem bestehen Unterschiede bezüglich Makro- und Mikromorphologie.

In der Regel sind die Milchzähne kleiner im Vergleich zu den bleibenden Zähnen.

Die Milchfrontzähne weisen eine gedrungene Kronenform auf und die Wurzeln haben einen elliptischen Querschnitt. Der Schmelzmantel ist dünn und bläulichweiss. Die Inzisalkante ist schon beim Durchbruch gerade und dort fehlen die typischen Mamelons (Erhebungen) der bleibenden Schneidezähne. Zervikal weisen sie eine starke Einziehung der Kronenkontur auf [VAN WAES 1993].

Die Kronen der Milchmolaren sind vom Äquator zur Oberfläche stark konvergent im Vergleich zu den bleibenden Zähnen. Sie weisen einen zervikalen Schmelzwulst auf, der bukkal stark ausgeprägt ist. Zervikal davon haben sie eine starke Einziehung und der Approximalkontakt ist flächiger als bei den bleibenden Zähnen [VAN WAES 1993, VAN WAES et al. 2001].

Bei den Milchzähnen sind die Schmelz- und Dentinschicht dünner als bei den bleibenden Zähnen und die Pulpa in Vergleich zur Krone grösser. In jedem Höcker eines Milchmolars findet sich ein Pulpahorn, das näher an die Zahnoberfläche reicht als bei den bleibenden Molaren. Das Pulpahorn des mesiobukkalen Höckers ist am stärksten ausgeprägt.

Die dünneren Schmelz- und Dentinschichten und das ausgeprägte Pulpavolumen stellen für den Ablauf einiger Zahnhartsubstanzpathologien (z.B. Karies) ein grösseres Problem dar. Das raschere Fortschreiten von Karies ist zusätzlich in den mikromorphologischen Besonderheiten den Milchzähnen zu suchen. Als Resultat einiger dieser Unterschiede kann man einen Farbunterschied zu bleibenden Zähnen (die Milchzähne erscheinen weisser) und geringere Attritionsresistenz des Milchgebiss beobachten.

Unter dem Elektronenmikroskop zeigen sich gegenüber den bleibenden Zähnen folgende Besonderheiten: an nahezu allen Oberflächen findet sich eine ca. 30-100 µm dicke Schicht von aprismatischem Schmelz. Die Dicke dieser Schicht nimmt von den Schneidezähnen über die Eckzähne zu den Molaren zu. Bei Letzteren ist eine unterschiedliche Menge an unregelmässig angeordneten Schmelzprismen zu finden. Im Bereich der Höckerspitzen laufen

die Schmelzprismen unterhalb der aprismatischen Schicht spiralig angeordnet und enden flächenparallel zur Oberfläche. Im gingivalen Drittel der Zahnkrone, laufen sie von der Schmelz-Dentin-Grenze schräg nach okklusal (bei bleibenden Zähnen tendenziell nach zervikal) [VAN WAES 1993].

Der Mineralgehalt des Schmelzes ist im Vergleich zu den bleibenden Zähnen kleiner und beträgt etwa 86-88% des Volumens statt ca. 95%. Die Porenvolumen ist hingegen vergrößert und beträgt zwischen 1% und 5%, bei den bleibenden Zähnen im Normalfall 0,1-0,2% [VAN WAES et al. 2001].

Auch das Dentin weist Unterschiede auf: die Mikrokanäle sind häufiger und die Dentintubuli sind ungleichmässiger verteilt, das solide Dentin ist deutlich seltener [SUMIKAWA et al. 1999].

3.2 Karies

3.2.1 Ätiologie, Lokalisation und Epidemiologie

Karies ist die häufigste Erkrankung der Zahnhartsubstanzen. Sie ist eine lokalisierte Erkrankung der Zahnhartgewebe, welche durch das Zusammenwirken von pathogenen Mikroorganismen der Mundhöhle und pathogener ökologischer Faktoren entsteht [HELLWIG et al. 2013]. Karies ist eine diätabhängige und keine ernährungsbedingte Krankheit [KITE et al. 1950].

Karies ist grundsätzlich ein dynamischer und multifaktorieller Prozess von Demineralisation und Remineralisation („Ionenwippe“), wobei kariogene Mikroorganismen (Plaque), Überangebot an kariogenem Substrat (Nahrungsmittel), Zahnhartsubstanz und Zeit die vier Hauptfaktoren für Kariesentstehung sind. Daneben spielen sekundäre Faktoren (z.B. Speichelfluss, -zusammensetzung, pH-Wert, Pufferkapazität, Dauer und Häufigkeit der Substratzufuhr, Immunabwehr, genetische Faktoren, sozioökonomische und verhaltensbezogene Komponenten, Zahnfehlstellungen und -bildungen, Einstellung des behandelnden Zahnarztes) noch eine Rolle [HELLWIG et al. 2013].

Plaque ist ein strukturierter, zäher, verfilzter Zahnbelag (Biofilm) aus Speichelbestandteilen, bakteriellen Stoffwechselprodukten, Nahrungsresten und Bakterienzellen. [HELLWIG et al. 2013].

Entscheidender Faktor bei der Kariesentstehung ist die häufige Zufuhr vergärbare Kohlenhydrate (Saccharose, Oligosaccharide, Glukose, Fruktose, Laktose, Stärke) [HALDI et al. 1953, MEYER-LÜCKEL et al. 2012] und die Präsenz oraler Mikroorganismen [ORLAND et al. 1954, MEYER-LÜCKEL et al. 2012]. Nach dem Abbau niedermolekularer Kohlenhydrate durch die Plaquebakterien (v.a. Streptokokkusmutans Spezies) entstehen organische Säuren wie Laktat, Propionat, Butyrat und Valerianat, die den pH-Wert in der Plaque unter einen kritischen Wert absenken und einen Mineralverlust aus der Zahnschubstanz bewirken. Diesbezüglich kritische pH-Werte sind in Bereich von 6,2-6,7 für Zement und Wurzelentin und in Bereich von 5,2-5,7 für den Schmelz [HELLWIG et al. 2013]. Proteolytische Enzyme wie Proteasen, Peptidasen und Kollagenasen verschiedener Mikroorganismen spielen zusätzlich eine wichtige Rolle bei der Kariesprogression in Zement und Dentin, in dem sie zusätzlich zur pH-bedingten Destruktion die Zahngewebe direkt angreifen und abbauen können.

Die Kariespredilektionsstellen entsprechen den bevorzugten Anlagerungsstellen der supragingivalen Zahnplaque und sind vor allem Zahnfissuren und -grübchen, die Approximalflächen und Flächen am Gingivalrand [MEYER-LÜCKEL et al. 2012].

Verschiedene Faktoren wirken sich bei Kindern auf die Epidemiologie der Karies aus. Dazu gehören Alter, Geschlecht, Ursprungsland der Mutter, Migrationshintergrund und mehreren sozio-ökonomische Aspekte [MADRID et al. 2012, MENGHINI et al. 2008 a, MENGHINI et al. 2008 b].

Allgemein weisen Bewohner der hoch industrialisierten Länder und Menschen, die einen sitzenden Lebensstil haben, höhere Kariesmorbidity auf als Menschen weniger wohlhabenden Ländern. Nach ZENG et al. 2014 sind z.B. lange Fernsehzeiten mit höherer Kariesprävalenz bei Adoleszenten assoziiert. Männliches Geschlecht und junges Alter sind ebenfalls zusätzliche Faktoren, die die Kariesentwicklung begünstigen können [MEJARE et al. 2004, MENGHINI et al. 2008 b].

Karies ist so alt so wie Menschheit. Mit der Industrialisierung und der Entdeckung der neuen Welt, ungefähr im 15. Jahrhundert, wurde der Zucker, vorher eher als „fine spice“ angesehen, einfach und billig verfügbar [BERNSTEIN 2009]. Entsprechend wurde eine zuckerreichere Ernährung eingeführt, was zu einem drastischen Anstieg des Kariesbefalls bis zu den 1960er Jahre beitrug.

Dieser drastische Anstieg des Kariesbefalles führte in den industrialisierten Ländern zur Einführung von verschiedenen präventiven Massnahmen, unter anderem Wasser und Salz mit Fluoridzusatz, Fluoridtabletten, fluoridierte Zahnpaste, und zahnfreundliche Produkte [MARTHALER 2013], die zu einer Kariesreduktion bis heutzutage führten [TOUGER-DECKER et al. 2003].

3.2.2 Histologie der Karies

3.2.2.1 Schmelzkaries

Nach SELWITZ et al. [2007] ist die kariöse Zerstörung des Schmelzes eine Auflösung der Mineralanteile, zuerst in der subklinischen Ebene und dann in der visuellen Ebene.

Wenn Demineralisationvorgänge an der Zahnoberfläche erfolgen, entsteht die sogenannte initiale Kariesläsion (white spot, aktive initiale Kariesläsion, incipient lesion), die initial nur auf den oberflächlichen Schmelz beschränkt und noch nicht zu einem Einbruch der Oberfläche d.h. zur Bildung einer Kavität geführt hat. In lichtmikroskopischen und polarisationsmikroskopischen Untersuchungen von Dünnschliffen von Zahnschmelz, der eine initiale Läsion aufweist, erscheinen vier verschiedene Zonen, die jedoch nie gleichzeitig erkennbar sind. Ihr Erscheinen hängt vom Imbibitionsmedium bzw. von den Doppelbrechungseigenschaften des Zahnschmelzes ab. Wenn z.B. ein Dünnschliff einer Läsion in Wasser eingelegt und dann mikroskopiert wird, erkennt man eine pseudointakte Schmelzschicht an der Oberfläche und darunter einen Läsionskörper. Wenn vor dem Mikroskopieren der Dünnschliff in ein öliges Imbibitionsmedium (z.B. Chinolin) eingelegt wird, erkennt man zusätzlich eine transluzente Zone zur Dentinseite und eine dunkle Zone zwischen Läsionskörper und transluzenter Zone.

Die Reihenfolge von der Oberfläche her ist (Abb. 1):

- die transluzente Zone
- die dunkle Zone
- der Läsionskörper
- ein Oberflächenschicht

Die verschiedenen Charakteristika der vier Zonen der Schmelzkaries von nach innen aussen sind:

Die transluzente Zone oder helle Zone ist die Zone der fortschreitenden Demineralisation. Das Porenvolumen beträgt ca. 1% (gesunder Schmelz 0,1%) und Porengrösse und -zahl sind höher als im gesunden Schmelz.

In der dunklen Zone wird das Porenvolumen noch grösser und beträgt ca. 2-4%. Dank den Remineralisationserscheinungen an den Apatitkristallen sind die Poren kleiner als die Poren der transluzenten Zone.

Mit einem Porenvolumen zwischen 5-25% ist der Läsionskörper die Zone des grössten Mineralverlustes. Speichelbestandteile wie Wasser und Proteine können in diese Poren eindringen. Retziuslinien, Prismenquerstreifung und Prismengrenzen werden dort deutlicher sichtbar als im gesunden Schmelz.

Die Oberflächenschicht hat ein Porenvolumen von weniger als 5% mit einem Mineralverlust von ca. 1-10%. Im mikroskopischen Bild erscheint sie intakt.

Trotz der Demineralisationsvorgänge bleibt die Prismengrobstruktur noch sehr lange erhalten. Es sind nur die interkristallinen Räume, die durch den Mineralverlust an der Kristalloberfläche bzw. im Zentrum der Schmelzkristalle grösser werden [HELLWIG et al. 2013].

3.2.2.2 Dentinkaries

Wenn der Säureangriff durch die Bakterien der Mundhöhle nicht an der Zahnoberfläche gestoppt wird, erreicht die Karies die Schmelz-Dentin-Grenze und das Manteldentin. Dort verursacht der Demineralisationvorgang eine Dentinläsion, die eine relativ rasche Progression aufweist und im Endeffekt -nach Einbruch des Schmelzes- zur bakteriellen Invasion (und Infektion) des Dentins führt. Aufgrund der Dentineigenschaften und dem Vorhandensein von Dentinkanälchen haben Dentinläsionen im Anfangsstadium zwei typische Erscheinungsbilder: Die erste Läsion läuft entlang den Hauptdentinkanälchen in Richtung Pulpa und wirkt „penetrierend“ und keilförmig. Die Zweite läuft entlang der Seitenkanäle des Manteldentins

parallel zur Schmelz-Dentin-Grenze und wirkt „unterminierend“ und pilzförmig [IMFELD 2008].

Wie bereits erwähnt, enthält Dentin Kanälchen, die als Weg zur Diffusion von bakteriellen Toxinen, Enzymen oder Ausbreitungsweg von Bakterien dienen. Auch bei Dentinläsionen erscheinen unter dem Elektronenmikroskop typische Schichtbilder. Infizierte (mit Einbruch der Zahnoberfläche) und nicht infizierte Dentinläsionen unterscheiden sich im mikroskopischen Bild. Bei einer nicht infizierten Dentinkaries findet sich in Dentindünnschliffen gleich unter der Schmelz-Dentin-Grenze ein sogenannter „dead tract“. Dort sind keine Odontoblastenfortsätze mehr vorhanden. Diese Zone besitzt keine zelluläre Kommunikation mehr mit der Pulpa, darum wird sie als „tot“ bezeichnet.

Nach innen folgt eine Zone der Sklerose, wo das Dentin durch Apposition peritubulärer Dentinanlagerungen, Zurückweichen und teilweise Mineralisation der Odontoblastenfortsätze sklerotisch wird.

Darunter folgt normales Dentin bis zur pulpalen Grenze. An der Pulpa-Dentin-Grenze, wird -als zusätzlicher Schutzmechanismus- Terziärdentin gebildet.

Wenn die Zahnoberfläche eingebrochen ist und eine bakterielle Invasion erfolgt, wird das Bild anders und es erscheinen noch zwei zusätzliche histologische Zonen. Die Erste tritt unmittelbar unter der Schmelz-Dentin-Grenze auf. Sie wird als die Zone der Penetration bezeichnet. Hier sind Bakterien (vor allem grampositive Bakterien wie z. B. Laktobazillen) in den Dentinkanälchen vorhanden. Auf diese Zone folgt die Zone der Demineralisation. Wenn die Dentinkaries in fortgeschrittenem Stadium untersucht wird, ist das periphere Dentin erweicht bzw. verflüssigt und nekrotisch. Dann bildet sich noch die letzte Zone: die Zone der Nekrose. Diese Zone besteht aus vitalen und avitalen Mikroorganismen, deren Stoffwechselprodukte, sowie nekrotischem Dentin.

3.2.3 Besonderheiten der Karies im Milchgebiss

Karies im Milchgebiss ist oft Resultat falscher Ernährungsgewohnheiten wie zum Beispiel dem unkontrollierter Gebrauch von Nuckelflaschen oder Trinkbecher mit Milch, gesüßtem Tee und Fertiggetränken, Fruchtsäften u.a., oder Resultat von ungeeigneten Beruhigungsmethoden wie zum Beispiel Sauger mit Honig, Zucker oder Sirup. Die schlechte

Mundhygiene, keine oder wenige nahrungsmittelfreie Intervalle zwischen den Mahlzeiten und falsche Lebensverhalten z. B. späte Bettzeiten, unregelmässiger schlaf-wach-Zyklus und Rauchgewohnheiten der Familie spielen ebenfalls wichtige Rollen in der Kariesentstehung bei den Kindern [WATANABE et al. 2014].

3.3 Differentialdiagnose zwischen Karies und andere Veränderungen

Ein wichtiger Punkt in der Diagnose der Zahnpathologien ist die Differentialdiagnose zwischen Karies und anderen Veränderungen.

Aufgrund der geringeren Mineralisation bei gewissen Zahnstrukturveränderungen (u.a. Fluorosen, Schmelzopazitäten oder Hypomineralisationen) ist dort der Brechungsindex der Zahnschubstanz und die Radioopazität ähnlich der einer Karies. Das kann in gewissen Fällen mit bestimmten diagnostischen Verfahren zur falsch positiven Resultaten führen. Eine höhere Genauigkeit der Diagnose kann durch die Kombination verschiedener Methoden gewonnen werden [MEYER-LÜCKEL et al. 2012, LUSSI 1991, LUSSI 1993].

3.4 Diagnostische Verfahren

Karies ist ein dynamischer Prozess, der durch biochemische und ultrastrukturelle Veränderungen entsteht und zum Zahnverlust führen kann. Eine korrekte und frühzeitige Detektion der Läsionen und eine richtige Diagnose mit präzisen Informationen über Grösse und Progredienz sind die Voraussetzungen für eine adäquate Therapieplanung und Läsionsmanagement. Die in der Klinik angewendeten Methoden und Strategien der Kariesdetektion müssen diese Voraussetzungen erbringen. Eine grosse Schwierigkeit besteht u.a. darin, dass Kariespredilektionsstellen sich naturgemäss in visuell nur schwer zugänglichen Bereichen der Zähne befinden [MEYER-LÜCKEL et al. 2012].

Ein ideales Diagnose-Hilfsmittel wäre ein Verfahren/Gerät mit einer hohen Sensitivität und einer hohen Spezifität, einfach in der Handhabung, komfortabel und ohne gesundheitliche Nebenwirkungen, aber mit dem grössten gesundheitliche Nutzen für den Patient, möglichst billig sowohl für Zahnarzt und Patient und das Auskunft über die Kariesaktivität und -progredienz geben könnte [GIMENEZ et al. 2015].

Heutzutage haben Zahnärzte eine sehr breite Auswahl an verschiedenen diagnostischen Verfahren, die eine Lösung für diese Problematik versprechen [YOUNG 2002]. Die meisten erfüllen die zahnärztlichen Ansprüche aber nur teilweise und müssen kombiniert werden, um eine zuverlässige Kariesdiagnostik zu gewährleisten [ALOMARI et al. 2015]. Zur Vermeidung der Überbehandlung soll der Operateur die Prinzipien aller verschiedenen Verfahren gut kennen lernen und Erfahrung aufbauen.

3.4.1 Visuell-taktile Verfahren

3.4.1.1 Funktionsprinzip

Das visuell-taktile Verfahren ist, wahrscheinlich aufgrund der einfachen Technik und als billigste Untersuchungsmethode, die am weitesten verbreitete Untersuchungsmethode zur Kariesdiagnostik [BRAGA et al. 2010]. Diese Methode basiert auf der vorsichtigen und drucklosen Inspektion der gereinigten und getrockneten Zahnoberfläche unter ausreichendem Licht mit Hilfe eines Dentalspiegels und einer graziilen (nicht spitzigen) Sonde. In den letzten Jahren wurde die Verwendung von Vergrößerungshilfen zunehmend. Allerdings zeigen Studien keine eindeutige Verbesserung der Untersuchungsergebnisse. [EKSTRAND et al. 1997, NYVAD et al. 1999, MEYER-LÜCKEL et al. 2012].

Visuell werden die Farbabweichungen zur gesunden Zahnstruktur erfasst und taktil werden die Unregelmässigkeiten in der Morphologie der Zahnoberfläche ertastet, jedoch muss das mit möglichst wenig Kraftanwendung gemacht werden, da die Gefahr der Zerstörung von demineralisiertem, jedoch noch morphologisch intaktem Schmelz besteht [PAGLIARO 2002, MEYER-LÜCKEL et al. 2012]. Nicht verfärbte Fissuren sind ein gutes Zeichen für Kariesfreiheit. Verfärbte Fissuren hingegen sind kein eindeutiges Merkmal für Karies, da diese Verfärbungen auch exogener Natur sein können [MARTHALER et al. 1990, PAGLIARO 2002].

3.4.1.2 Vorteile und Nachteile

Vorteile dieses Verfahrens sind:

- eine sehr gute Spezifität [LUSSI et al. 1998, WENZEL et al. 1991],
- Hinweise über die Progredienz (Farbe/Konsistenz) sind gegeben aber subjektiv,

- Hilfsindizes zur Dokumentation (z.B. ICDAS-Erfassungssystem, UniViSS, etc.) sind vorhanden und helfen bei der Klassifizierung der kariösen Läsion und der Bestimmung des Behandlungsbedarfes,
- die Frequenz in dem dieser Vorgehen eingesetzt werden kann, ist unbegrenzt.

Nachteile sind:

- die Methode weist bei fehlender Kavitation eine schlechte Sensitivität auf [LUSSI et al. 1998, WENZEL et al. 1991],
- ist subjektiv und weist nur eine mässige Reproduzierbarkeit der Kariesdiagnose [LUSSI et al. 1998] auf,
- sie ist nicht speicherbar, ausser mit Bildern aus einem separaten Fotoapparat,
- ist sehr sensibel bezüglich Anwender, Druck und angewendetem Instrument,
- die Tiefe der Läsion ist nur teilweise und schlecht einschätzbar,
- zusätzlich können Schäden vom Anwender verursacht werden [EKSTAND et al. 1995],
- nicht alle Oberflächen sind ausreichend erreichbar (z.B. Approximalflächen und tiefe Fissuren und Grübchen).
- Diese Untersuchungsmethode ist schwierig nutzbar zur Beurteilung der flächiger Approximalkontakte im Milchgebiss [LUSSI 1991, LUSSI 1993, KÜHNISCH 2014].

3.4.2 Röntgenologische Verfahren

3.4.2.1 Bitewings oder Bissflügelröntgentechnik

3.4.2.1.1 Aufbau und Funktionsprinzip

Dieses Verfahren ist ungefähr seit 1925 in Verwendung [RAPER 1925]. Ionisierenden Strahlen (Röntgenstrahlen) werden in einer Röntgenröhre generiert, durchstrahlen die Zahnreihe und treffen danach den Sensor (digitale Röntgenbilder) oder die strahlenempfindliche Filmfolie (analoge Röntgenbilder). Hier entsteht je nach Röntgenopazität und Dicke der durchstrahlten Gewebe ein 2-dimensionales Überlagerungsbild der 3-dimensionalen anatomischen Strukturen die durchstrahlt werden [MEYER-LÜCKEL et al. 2012].

Zur Kariesdiagnostik wird die unterschiedlichen Strahlenabsorption und Radiotransluzenz aufgrund des Mineralverlusts der kariösen Läsionen ausgenützt [MEYER-LÜCKEL et al. 2012].

Die verschiedenen kariösen Stadien, die auf den Röntgenbildern im Rahmen der Diagnostik sichtbar sind, sind in der Tabelle 1 dargestellt.

3.4.2.1.2 Vorteile und Nachteile

Vorteile dieses Vorgehens sind:

- die Möglichkeit der Speicherung des resultierenden Bildes, sei es analog oder digital, das resultierende und gespeicherte Bild kann zu einem späteren Zeitpunkt im Rahmen der Kariesverlaufskontrollen als Vergleichsbild mit einem anderen Röntgenbild genützt werden. Vorausgesetzt, Aufnahmewinkel und Bildpositionierung sind in beiden Aufnahmen ähnlich,
- das Bild gibt Hinweise über die Läsionstiefe in der mesio-distalen und in der okkluso-apikalen Richtung. Überprojektionen von zwei benachbarten Zähnen können die Interpretation erschweren,
- beim digitalen Bild hat man die Möglichkeit einer Bildbearbeitung (Vergrößerung, Kontrastierung, Abstufung der Grautöne),
- die Sensitivität und Spezifität des digitalen Röntgens ist besser als diejenige des analoges Röntgens [LUSSI et al. 1998, WENZEL et al. 1992].

Nachteile dieses Verfahren sind:

- die Anwendung von biologisch schädlichen Röntgenstrahlen (beim analogen Röntgenbildverfahren meist stärker als beim Digitalen), die nur eine eingeschränkte Wiederhol-frequenz der Bildgebung ermöglichen,
- das resultierende Bild, das ein 2D-Bild ist einer 3D-Situation. Aufgrund dieser 2D Darstellung können Überprojektionen und Überlappungen der Approximalkontakte entstehen, was eine genaue Interpretation des Bildes einschränkt,

- es braucht eine gewisse Kooperation seitens Patient (Einschränkungen bei Kleinkinder, kleiner Mundöffnung, Würgereiz),
- es gibt keinen direkten Hinweis über die Aktivität einer Läsion (mehrere Bilder in zeitlichem Abstand sind notwendig),
- es gibt keine Hinweis auf die mögliche Kavitation der Läsion,
- es besteht die Möglichkeit von Artefakten oder ein Burn-out-Effekt im zervikalen Bereich,
- die Okklusalkariesdiagnostik ist aufgrund der Überlappungen der Okklusalfissuren schwierig und im Anfangsstadium einer Läsion erschwert,
- Serienbilder für die Verlaufskontrollen sind aufgrund der unterschiedlichen Aufnahmewinkel schwierig vergleichbar, es gibt mögliche falsch-positive Befunde,
- der Einsatz dieser Untersuchungsmethode ist bei schwangeren Frauen zusätzlich kontraindiziert [MEYER-LÜCKEL et al. 2012].

Dieses Verfahren weist eine Verbesserung der Sensitivität auf, wenn es mit dem visuell-taktilen Verfahren kombiniert wird [LUSSI et al. 1995].

3.4.3 Instrumentelle und instrumentell-optische Verfahren

Mit den Technologiefortschritten sind in den letzten Jahrzehnten neue instrumentelle Verfahren entwickelt worden. Die meisten basieren auf biologie-freundlichen Methoden, die im Gegensatz zu den biologisch schädigenden Strahlen der Röntgenbilder auf z.B. Widerstand- und Lichtprinzipien basieren. Dazu zählen:

3.4.3.1 Elektrische Widerstandmessung

3.4.3.1.1 Aufbau und Funktionsprinzip

Die Methode basiert auf der unterschiedlichen elektrischen Leitfähigkeit bzw. dem geringeren elektrischen Widerstand des demineralisierten und porösen Schmelzes gegenüber gesundem Schmelz und wird seit 1951 verwendet [DIECKE 2009]. Durch eine Elektrode

wird ein schwacher elektrischer Gleich- oder Wechselstrom auf die Zahnoberfläche geleitet. Eine zweite Elektrode wird im Mund angebracht oder in der Hand des Patienten gehalten. Der Strom fließt von der ersten Elektrode zur Zweiten durch die verschiedenen Körpergewebe sowie Zahngewebe und die kariöse Läsion. Die Stromstärke wird dann gemessen, ein relativer Wert für die Kariestiefe errechnet und auf einem Display angezeigt.

3.4.3.1.2 Vorteile und Nachteile

Der wesentliche Vorteil besteht in der fehlenden Strahlenbelastung für den Patienten. Dieses Gerät weist eine gute Reproduzierbarkeit der Kariesdiagnostik auf [LUSSI et al. 1998].

Zu den Nachteilen zählen:

- die auf die okklusale Oberflächen eingeschränkte Anwendung,
- die notwendige sorgfältige Feuchtigkeitskontrolle, da Flüssigkeiten im Mund den Stromkreis über die Gingiva schließen und zu falschen Ergebnissen führen können [MEYER-LÜCKEL et al. 2012].

Die Sensitivität ist im Vergleich zu visuell-taktilen Verfahren höher. Allerdings ist die Spezifität geringer [LUSSI et al. 1995, RICKETTS et al. 1996, LONGBOTTOM et al. 2004].

3.4.3.2 Faseroptische Transillumination (FOTI) und digitale faseroptische Transillumination (DIFOTI)

3.4.3.2.1 Aufbau und Funktionsprinzip

Bei der FOTI/DIFOTI wird sichtbares Licht mit einer Wellenlänge von $>650\text{nm}$ aus einer starken Lichtquelle über eine Faseroptik durch eine feine Spitze (0,3-0,5mm) auf die zu beurteilende Zahnoberfläche geleitet. Dort breitet sich das Licht je nach Transluzenz der beteiligten Gewebe unterschiedlich aus und wird stark gestreut oder absorbiert [MEYER-LÜCKEL et al. 2012]. Das DIFOTI handelt sich um eine Verbesserung der Vorgängigen FOTI und wurde in den späten 90er Jahren auf den Markt gebracht [ABDELAZIZ et al. 2015].

Die Absorption des Lichts ist im Bereich der wassergefüllten Poren grösser. Daraus resultiert eine optische Verdunkelung der kariösen Läsion, da das Licht vermehrt gestreut und absorbiert wird [KREJCI et al. 2012, MEYER-LÜCKEL et al. 2012].

Das DIFOTI System weist zusätzlich eine Digitalkamera und ein Speichermedium zur Speicherung des Resultates für spätere Vergleiche auf.

3.4.3.2.2 Vorteile und Nachteile

Vorteile dieses Verfahren sind:

- es ist ein röntgenfreies Verfahren und die Aussagekraft ist doppelt so hoch wie bei den rein visuell-taktilen Verfahren [PEERS et al. 1993],
- während das FOTI-System nur für die Detektion der approximalen und okklusalen Karies benutzbar ist, ist das DIFOTI-System für alle Fläche anwendbar,
- das DIFOTI-System kann zusätzlich Frakturen, Cracks und Sekundärkaries detektieren [ABDELAZIZ et al. 2015].

Nachteile sind:

- die Intensität des Lichtes ist in der Regel ungenügend, um grosse Prämolaren und Molaren zu durchdringen und die Anwendung ist deshalb auf Frontzähne und kleine Prämolaren limitiert,
- die Dokumentation und das Monitoring sind mit normalem FOTI sehr schwierig und aufwendig, die DIFOTI Version ist diesbezüglich besser,
- es braucht Übung oder Modifizierung der Sonde und die Sensitivität der Methode ist - speziell bei Schmelzläsionen- gering [KREJCI et al. 2012, EMDE 2013],
- es werden nur qualitative Informationen mitgeteilt, deshalb braucht diese Verfahren eine subjektive Interpretation [ABDELAZIZ et al. 2015].

3.4.4 Fluoreszenzbasierte Verfahren

Die fluoreszenzbasierten Verfahren basieren, wie der Name sagt, auf den natürlichen Fluoreszenzeigenschaften der Zahnstrukturen und Bakterienprodukte. Jedes menschliche Zahngewebe weist -wenn angeregt- eine eigene Fluoreszenz auf. Das ist z. B. auf die unterschiedlichen Essgewohnheiten zurückzuführen [KaVo 2001].

Das allgemeine Funktionsprinzip eines fluoreszenzbasierten Geräts ist das Durchleuchten der Zahnschmelze mittels Laserlicht einer spezifischen optimalen Wellenlänge, welche etwa 1mm in die Zahnoberfläche eindringt. Hier findet eine optische Anregung der Zahnschmelzen statt. Sobald veränderte Zahnschmelzen angeregt werden, fluoreszieren sie mit Licht einer anderen Wellenlänge, sodass Karies stärker als gesunder Schmelz und gesundes Dentin fluoresziert und dadurch erkannt werden kann [WILDE 2013]. Ein wichtiges Problem der fluoreszenzbasierten Geräte ist die Interferenz seitens fremder Lichtquellen [BETRISSEY et al. 2014].

3.4.4.1 VistaProof® (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Deutschland)

3.4.4.1.1 Aufbau und Funktionsprinzip

Als fluoreszenzbasierte Methode gehört VistaProof® zu der QLF-Verfahren (quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz). Die Zahnhartsubstanz wird dort mittels gepulsten Lichts der Wellenlänge im blauen Lichtspektrumbereich (ca. 405nm) aus einem ca. 1mm dicken Lichtleiter direkt durchleuchtet. Die resultierende Gewebefluoreszenz wird dann durch eine Intraoralkamera empfangen und durch eine Software, der DBSWIN analysiert und in ein Bild auf einem Computerbildschirm umgewandelt [EBERHART et al. 2007]. Die Software zeigt die Intensität der Fluoreszenz in negativen Farben, von grün (ca. 510nm Wellenlänge) zu rot (ca. 680nm Wellenlänge). Der resultierende Wert, dargestellt von 0 bis 3, steht in Zusammenhang mit dem Schweregrad der Läsion und zeigt die Intensität der roten und grünen Fluoreszenz [THOMS et al. 2006]. Das Dentin fluoresziert nun in einer grünen Farbe und die demineralisierten Bereiche, die eine niedrigere Fluoreszenz im Vergleich zu gesundem Gewebe aufweisen, da das Fluoreszenzsignal dort gestreut und abgeschwächt wird, resultieren rot bis gelb. Kariöse Läsionen, die bis ins Dentin reichen, werden mit einem Wert von 2,0 gezeigt. Diese werden orange oder gelb am Bildschirm gezeigt [BETRISSEY et al. 2014].

3.4.4.1.2 Vorteile und Nachteile

Vorteile der QLF-Methode sind:

- es handelt sich um eine nicht schädigende Methode, bei der keine ionisierenden Strahlen benutzt werden,
- sie eignet sich sehr gut für die Detektion von Schmelzläsionen im Bereich der Glattflächen,
- sie verfügt über eine Intraoralkamera, welche sich selber kalibrieren kann,
- beinhaltet die Möglichkeit zur Speicherung von okklusalen Bildern,
- gibt die Möglichkeit von Monitoring [BETRISEY et al. 2014].

Nachteile der QLF-Methoden sind:

- die limitierte Eindringtiefe des Lichtes im Zahn, Dentinläsionen sind so nur begrenzt feststellbar,
- es ist eine statische Messung, wobei die Läsion, nur senkrecht zur Lichtquelle, detektiert werden kann [BETRISEY et al. 2014],
- zudem kann dieses Verfahren wie der DIAGNOdent (siehe unten) nur die bakterielle Aktivität messen und nicht die intrinsische Veränderungen im Schmelz erkennen [HIBST et al. 2001, PRETTY 2006],
- Fluorose oder Beläge können zu falsch positiven Resultaten führen [RODRIGUES et al. 2008, LUSSI et al. 2005 a; LUSSI et al. 2005 b ; BETRISEY et al. 2014],
- ein anderes Problem dieses Gerätes, dass das Resultat beeinflussen kann, sind Interferenzen seitens fremder Lichtquellen [BETRISEY et al. 2014].

3.4.4.2 DIAGNOdent® pen (Kavo, Biberach, Deutschland)

3.4.4.2.1 Aufbau und Funktionsprinzip

Diese zweite fluoreszenzbasierte Methode funktioniert mittels Laserfluoreszenzmessung der Zahnstruktur mit einem gepulsten Licht der Wellenlänge im roten Lichtspektrumbereich (ca. 655nm). Es sind bereits mehreren Versionen des DIAGNOdent entwickelt worden u.a. DIAGNOdent® pen 2190, DIAGNOdent® 2095 (wobei der DIAGNOdent® 2095 nicht mehr auf der Markt verfügbar ist). Das Funktionsprinzip ist bei beiden Geräten ähnlich, der Unterschied liegt in der Gestaltung und Handhabung.

Der DIAGNOdent® pen 2190 besteht aus einem Hauptkörper oder Handgriff, der in direkter Verbindung mit einem Ansatz oder Sondenhalter steht. Auf dem Sondenhalter können drei verschiedene Sonden (Fissur-Sonde, Approx-Sonde, Paro-Sonde) je nach untersuchter Zahnfläche/-ort befestigt werden.

Vor jedem Gebrauch muss der DIAGNOdent® pen 2190 kalibriert werden. Die Kalibrierung ist aufgrund der unterschiedlichen individuellen Zahnfluoreszenz verschiedener Patienten notwendig. Dieser Unterschied entsteht aufgrund verschiedener Essgewohnheiten, Umweltbedingungen etc. Die Sonde muss an die getrocknete und gesäuberte Zahnfläche, die untersucht werden soll, senkrecht angelegt werden. Auf einem Display auf dem Hauptkörper, werden verschiedene Werte gezeigt u.a. der MOMENT-Wert und ein PEAK-Wert. Der MOMENT-Wert gibt Auskunft über den aktuellen Wert und der PEAK-Wert über den höchsten gemessenen Wert [KaVo 2001].

Die Zahnschmelz wird mit einem Laserlicht zum Fluoreszieren angeregt. Demineralisierte Bereiche weisen in diesem Fall im Vergleich zu gesundem Gewebe aufgrund der Anwesenheit von Mikroorganismen bzw. Stoffwechselprodukten wie Porphyrinverbindungen eine stärkere Fluoreszenz auf, da dort das Licht absorbiert wird. Die Elektronen in diesen Verbindungen werden so angeregt, erreichen ein höheres Energieniveau und verlassen dieses kurz darauf wieder. Dabei geben sie Energie in Form von Licht einer höheren Wellenlänge ab. Diese resultierende Fluoreszenz wird im Handstück weitergeleitet, gefiltert und quantifiziert in der Korrelation zur Läsionsausdehnung [MEYER-LÜCKEL et al. 2012]. Dank der eingebauten Infrarotdioden ist es möglich, die Anzeigewerte des DIAGNOdent® pen 2190 auf dem DIAGNOdent display 2191 darzustellen. Das Resultat ist ein akustisches Signal und ein digitaler Zahlenwert von 0 bis 99. Gemäss Gebrauchsanweisung des DIAGNOdent® pen

2190 [KaVo 2001] gelten als Schwellenwerte für die Fissuren, die Glattflächen und die Approximalflächen die in Tabelle 2 dargestellten Zahlen.

3.4.4.2.2 Vorteile und Nachteile

Vorteile dieser Methode sind:

- es ist ein röntgenfreies Verfahren,
- die Eindringtiefe liegt bei ca. 1 mm d.h bis ins Dentin [KÜHNISCH et al. 2010],
- sie funktioniert gut im Bereich der Okklusalfächen und eignet sich für die Diagnose von Dentinläsionen an direkt sichtbaren Zahnanteilen.

Nachteile dieser Methode sind:

- es entstehen falsch positive Resultate durch Plaque, Zahnstein, Restaurationen, Pigmente, Politurpaste, Speisereste, verfärbte Zähne, radioaktiv bestrahlte Patienten,
- es werden erhöhte Werte in Bereich der Pulpa angezeigt [RICKETTS 2005, KaVo 2001],
- die Approximal-Sonde ist relativ dick und fragil,
- die Initialläsionen werden nicht unbedingt als solche erkannt [LUSSI et al. 2006],
- das Schlussresultat ist kein Bild, sondern nur ein numerischer Wert,
- die Monitoring ist sehr schwierig, da die Messsonde die ganze Fissur bedeckt und nur der Spitzenwert aufgezeichnet wird. Darum muss die präzise Position der Sonde auf der Zahnoberfläche für die späteren Sitzungen aufgezeichnet werden,
- das Gerät muss vor jeder Sitzung sorgfältig kalibriert werden, was viel Zeit in Anspruch nimmt,
- wie bei VistaProof[®], kann dieses Verfahren nur die bakterielle Aktivität messen und nicht die intrinsische Veränderungen im Schmelz [HIBST et al. 2001, PRETTY 2006]. Darum können Fluorose oder Beläge zu falsch positiven Resultaten führen [RODRIGUES et al. 2008, LUSSI et al. 2005 a, LUSSI et al. 2005 b, BETRISEY et al. 2014].

- auch hier können fremde Lichtquellen mit dem Resultat interferieren [BETRISSEY et al. 2014].

3.4.5 DIAGNOcam[®] 2170 (Kavo, Biberach, Deutschland)

3.4.5.1 Aufbau und Funktionsprinzip

Das Verfahren basiert auf der Nahinfrarot-Transillumination und ist seit Ende 2012 auf den Markt. Ein zu untersuchender Zahn wird mittels nahinfrarotem Licht (780nm Wellenlänge) von oral und bukkal durch den Alveolarfortsatz durchleuchtet (transilluminert). Diese Wellenlänge des nahinfraroten Lichts ist Teil des so genannten optischen Fensters der Gewebe, was eine bessere Lichttransmission durch die Gewebe und eine tiefere Penetration und eine bessere Darstellungsqualität in Vergleich zu dem sichtbaren Lichtes ermöglicht. Das Licht gelangt durch die Arme eines Kamera-Handstücks über Gingiva und Knochen bis zu den Zahnwurzeln und wird von dort in alle Richtungen, somit auch nach koronal, gestreut. Ausserhalb des Zahnes, über der Okklusalfäche, wird dann das Licht mittels eines monochromatischen auf langwelliges Licht sensitiven CCD-Sensors, der sich im gleichen Handstück befindet, aufgenommen und auf einen Kavointegrierten Desktop (KID) eines Computers in ein real-time schwarz-weisses Videobild umgewandelt. Das DIAGNOcam[®]-System kann entweder an einen Laptop oder feststehenden Computer angeschlossen werden. Dieser Aufbau gibt dem Anwender die Möglichkeit mit der Kamera ein Bild mit dem optimalen Winkel zu suchen und entsprechend unter den Angaben des Patienten zu speichern [ABDELAZIZ et al. 2015].

Im dargestellten real-time schwarz-weiss Bild erscheinen ein transparenter Schmelz und ein dunkleres Dentin, wobei die Grenze zwischen den beiden scharf abgebildet wird. Das passiert, weil das Licht je nach Gewebe verstärkt gestreut oder absorbiert wird. Die Transluzenz der demineralisierten Bereiche erscheint deshalb niedriger im Vergleich zu gesundem Schmelz und Dentin, da die Transluzenz der Läsion gering ist im Vergleich zu gesundem Schmelz und Dentin [KÜHNISCH 2016].

3.4.5.2 Vorteile und Nachteile

Vorteile der DIAGNOcam[®] sind:

- es ist ein bildgebendes und röntgenfreies Verfahren, welches eine Real-time-Bildverarbeitung ermöglicht,
- die okklusal- und approximalflächen sind mit dem gleichen Gerät beurteilbar,
- die Resultate sind speicherbar, was einen späteren Vergleich und somit gegenüber anderen Verfahren besseres Monitoring ermöglicht,
- die optimale Unterscheidung zwischen Belägen, Fluorose-Veränderungen und echten Läsionen wird mit etwas Erfahrung des Behandlers gut möglich,
- es kann dank der Abwesenheit ionisierender Strahlen- und Nebenwirkungen ohne gesundheitliche Einschränkungen angewendet werden,
- zusätzlich ist dieses Verfahren sehr gut bei Patienten mit einer fixen orthodontische Apparatur mit metallischen Brackets und/oder Bänder anwendbar und die exakte Position der Läsion in der vestibulo-orale Dimension ist gut lokalisierbar Dank der okklusalen Darrstellung des Bildes [ABDELAZIZ et al. 2015],
- die Kommunikation mit dem Patienten wird dank den einfach interpretierbaren Bildern einfacher,
- diese Methode braucht geringere Kooperation seitens des Patienten als ein Röntgenbild, was sehr vorteilhaft sein kann bei wenig kooperativen Kindern oder Kindern/Patienten mit Würgreflex.

Nachteile der DIAGNOcam[®] sind:

- es braucht Übung, um Fehlinterpretationen zu vermeiden,
- das mit der DIAGNOcam[®] erzeugte Bild gibt keine Hinweise auf die Aktivität einer Läsion,
- für eine optimales Bild muss die Zahnoberfläche plaque-/zahnstein- und speichelfrei sein um Überlagerungen zwischen Karies und Plaque/Zahnstein oder Anderes zu vermeiden,

- die Licht-Arme der DIAGNOcam[®] sollen möglichst weit apikal platziert werden, damit das aus dem Handstück austretende Infrarotlicht die Zahnkrone möglichst wenig direkt überstrahlt,
- die zu untersuchende Region soll in die Bildmitte angelegt werden, um ein optimal scharfes Bild zu erhalten [KREJCI et al. 2012, KÜHNISCH 2014, SÖCHTIG et al. 2014],
- Ein zusätzlicher Nachteil dieses Verfahren ist, dass während der Anwender in der Mund der Patienten zu Platzierung des Mundstückes anschauen muss, muss er gleichzeitig auch auf den Bildschirm des Computers schauen, um die korrekte Position des Gerätes zu gewährleisten, was zu leichte Bewegungen der Kamera und der Speicherung ungewünschte Bilder verursachen kann [ABDELAZIZ et al. 2015].

Trotz all dieser Vorteile wurde die DIAGNOcam noch nicht als vollwertigen Ersatz des Röntgenbildes betrachtet, sondern es scheint eine sinnvolle Ergänzung zur Verlaufskontrolle der Kariesprogression während der Recallsitzungen zu sein [KREJCI et al. 2012].

3.5 Besonderheiten der verschiedenen Diagnoseverfahren für das Milchgebiss

Eine frühzeitige Diagnose der Karies ist auch im Milchgebiss entscheidend. Detektion und Assessment der Karies sind entscheidende Faktoren für eine erfolgreiche Betreuung, vor allem bei den Milchmolaren, wo der Kariesprozess aufgrund der dünnen Schmelz- und Dentinschicht, dem niedrigen Mineralgehalt, den weiten Dentinkanälchen und der tiefen Fissuren, noch schneller fortschreiten kann [BADER et al. 2002, PITTS et al. 1992]. Wenn die Milchzahnkaries frühzeitig, das heisst vor der Kavitation, erkannt wird, kann diese mit einfachen und kostengünstigen präventiven Massnahmen wie einer sorgfältigen Mundhygiene, Fluorid Gel usw. behandelt und ein invasiver, teuer Eingriff vermieden werden, was für das Kind extrem von Vorteil sein kann. Das Vermeiden eines invasiven Eingriffs ist bei kleinen oder unkooperativen Kindern sehr von Vorteil, da unnötiges Behandlungsstrapazen oder Narkosen vermeiden werden können [KUCUKYLMAZ et al. 2015].

Wie bereits erwähnt, ist die Forschung über neue Diagnose Systeme in der bleibenden Dentition sehr fortgeschritten. Aufgrund der unterschiedlichen morphologischen

Charakteristiken zwischen bleibenden- und Milchzähnen, ist eine Extrapolation der Resultate jedoch nicht möglich [ASHLEY 2000]. Aussagekräftige Forschungsergebnisse und entsprechend eine ausreichende Literatur über die Kariesdetektionsverfahren im Milchgebiss ist im Vergleich zu denen über den bleibenden Dentition nur begrenzt verfügbar.

Die häufigste Methode für die Kariesdiagnostik ist auch im Milchgebiss das visuell-taktile Verfahren [BRAGA et al. 2010]. Wie bereits erwähnt, hat diese Methode mehrere Vorteile sowie Nachteile. Im Milchgebiss ist zusätzlich die visuelle Inspektion der Approximalkontakte der Milchmolaren bei den unkavitierten Läsionen aufgrund der speziellen anatomischen Besonderheiten dieser Zähne (u.a. die flachen Approximalkontakte) noch schwieriger.

Röntgenbilder sollen aufgrund der potentiell höheren Schädlichkeit ionisierender Strahlen bei Kindern noch weniger eingesetzt werden, was ein engmaschige Monitoring der Karies verunmöglicht [COSTA et al. 2002].

Aufgrund der Einschränkungen bei den beiden oben genannten diagnostischen Methoden und der Notwendigkeit genauer und biologie-freundlicher Methoden, bekommen alternative Verfahren auch im Fall des Milchgebisses mehr Bedeutung, insbesondere solchen wie den Laserfluoreszenzmethoden und die DIAGNOcam[®].

Die Elektrische Widerstandmessung gilt als vielversprechendes Verfahren in der bleibenden Dentition. Die gemessene Sensitivität und Spezifität für die Diagnostik der okklusalen Läsionen bei den Milchzähnen betrug in vitro jedoch je 0,9 und 0,81. Es gibt deshalb keine Verbesserung der Detektion der kariösen Läsion in den Milchdentition im Vergleich zu den visuell-taktilen Verfahren [ASHLEY 2000]. Deren Anwendung kann für die Kariesdetektion und –Monitoring im Milchgebiss gebraucht werden, wobei die Schmelzkaries mit höherer Genauigkeit detektiert werden kann [KUCUKYLMAZ et al. 2015].

Die VistaProof[®] zeigte nur eine moderate Genauigkeit in der Detektion der Glattflächenkaries der Milchgebiss in in vitro Studien, wobei die Leistungsfähigkeit bei der Detektion der Dentinkaries gleich zur Detektion der Schmelzkaries war [NOVAES et al. 2016].

Sehr wenig Literatur ist über die Kariesdiagnostik im Milchgebiss mit FOTI/DIFOTI vorhanden. Eine Validation des Verfahrens ist deshalb nur begrenzt möglich. Nach einer in vivo Studie von Holt et al. [1989] resultieren bei der diagnostischen Genauigkeit und

Zuverlässigkeit der FOTI keine Vorteile über die radiologische Diagnose der Approximalkaries im Milchgebiss.

In einer in vivo und in vitro Studie von Kucukylmaz et al. [2015] über der Diagnostik der okklulalen Läsionen bei Milchzähnen mit dem DIAGNOdent[®] resultiert eine niedrige Sensitivität und eine hohe Spezifität. Dank seiner hohen Spezifität hat das Gerät gutes Potential bei der Prävention von unnötigem iatrogenem Substanzverlust und kann für die Kariesdetektion und –Monitoring im Milchgebiss gebraucht werden.

In vivo Studien über der Anwendung des DIAGNOdent[®] pen 2190 in der Detektion der approximalen und okklusalen Läsionen wurden von Mendes et al. [2012] durchgeführt. Die Resultate ergaben keine deutliche Vorteile der Anwendung des DIAGNOdent[®] pen 2190 bei der Detektion der Läsionen in Vergleich zu den visuell-taktil Verfahren alleine.

Es sind keine aktuellen publizierten Studien (Status von September 2017) über der Anwendung der DIAGNOcam[®] 2170 in der Milchdentition vorhanden.

Insgesamt ist auch für das Milchgebiss die Kombination mehreren Verfahren nötig und sinnvoll [KUCUKYLMAZ et al. 2015] mit dem Risiko, dass die falsch positiven Befunde erhöht werden [BAELUM 2010].

4 Ziele der Arbeit

Heutzutage gibt es verschiedene Systeme zur Kariesdetektion, die u.a. auf dem Phänomen der Transluzenz, der Fluoreszenz oder der Laserfluoreszenz basieren. In vitro- und in vivo-Versuche wurden bereits mit allen Systemen in der bleibende Dentition durchgeführt. Klinische Untersuchungen in der Milchdentition liegen aber nur wenige vor. Grund dafür können die schwierige Rahmenbedingungen für Untersuchungen bei Kindern und Jugendlichen sein (u.a. ethische und psychologische Bedingungen) oder auf die geringer eingeschätzte Wertigkeit der Milchdentition, die einfach als eine transitorische Dentition angesehen wird beruhen. Die Milchzähne, vor allem gesunde Milchmolaren, sind aber eine Voraussetzung für eine korrekte mastikatorische Funktion. Sehr wichtig ist zudem auch die Funktion dieser Zähne bei der Entwicklung des Gesichtes der Kinder. Aus diesem Grund ist der Erhaltung der Milchmolaren grosse Bedeutung zur Vermeidung vieler Zahnstellungsanomalien und um eine korrekte Ernährung zu gewährleisten, beizumessen.

Da Kinder und Jugendliche biologisch ein sehr sensibler Teil der Bevölkerung sind, es muss daher, -wenn möglich noch mehr als bei Erwachsenen- auf ionisierenden Strahlen oder andere biologisch schädigende Methoden verzichtet werden.

Aus diesem Grund wird am Zahnmedizinischen Zentrum der Universität Zürich bereits seit September 2014 ein solches neues nebenwirkungsarmes optisches System zur Kariesdetektion, die DIAGNOcam[®] regelmässig eingesetzt. Dies in Kombination mit anderen, herkömmlichen Diagnoseverfahren eingesetzt. Das Gerät ist bereits seit Ende 2012 auf dem Markt. Dieses Verfahren zur Kariesdetektion wurde in der bleibenden Dentition in mehrere Studien validiert. Für das Milchgebiss liegen noch keine Studien vor.

Ziele der vorliegenden retrospektiven Studie sind:

Validierung des DIAGNOcam[®]-Verfahrens zur Detektion kariöser Läsionen an Approximalfächen vom Milchmolaren. Falls dieses Verfahren auch im Milchgebiss validiert werden kann, könnte man idealerweise auf die Röntgenbilder verzichten, was für die Praxis von grosser Bedeutung wäre. Es könnten häufigere Kariesuntersuchungen ohne Gefahr von gesundheitlichen Nebenwirkungen für die jungen Patienten durchgeführt werden und die Betreuung könnte mehr in Richtung perfektes Monitoring gehen.

Zur Beantwortung dieser Frage wurden die an der Klinik für Kinderzahnmedizin der Universität Zürich bereits gesammelten DIAGNOcam[®]-Bilder retrospektiv analysiert.

Als Nebenfrage sollte der Einfluss der speziellen anatomischen Bedingungen der Milchdentition und des jungen Schädels untersucht werden. Die Notwendigkeit dieser zusätzlichen Frage ergibt sich aufgrund der Funktionsweise der DIAGNOcam[®], die eine Lichtleitung durch Gingiva, Knochen und Zahnwurzel erfordert. Die Anatomie der Milchmolaren, deren progrediente physiologische Wurzelresorption infolge Durchbruch der bleibenden Zähne und die nahe topografische Beziehung zwischen Milchzahn und Keime der bleibenden Nachfolger könnten einen Einfluss auf die Darstellung der Läsionen haben. Nebenziel der Studie ist deshalb, zu untersuchen, ob die Wurzelresorption der Milchmolaren und die Lage der Keime der bleibenden Zähne einen Einfluss auf die Lichtleitung hatten und die Sensitivität und Spezifität des Verfahrens beeinflussen. Zur Beantwortung diese Fragen war das Ziel möglichst viele Zähne von Patienten in verschiedenen Altersstufen, und somit verschiedenen Wurzelresorptionsgraden retrospektiv zu evaluieren. Aufgrund der fehlenden wissenschaftlichen Validierung des DIAGNOcam[®]-Verfahrens zur Kariesdetektion im Milchgebiss, wurde die Indikation zur operativen Behandlung der kariösen Läsionen immer nur aufgrund der traditionellen klinischen und der röntgenologische Befunde gestellt und geplant. Die DIAGNOcam[®]-Bilder wurden primär als Zusatzinformation (z.B. Ausdehnung der Läsionen in bucco-oraler Richtung) genutzt und mit den Röntgenbildern verglichen. Die ohnehin vorhandenen Röntgenbilder sollten zudem zur Bestimmung des Ausmasses der Wurzelresorption genutzt werden.

Zusätzlich wurde die Akzeptanz des DIAGNOcam[®]-Verfahrens bei Kinder und Jugendlichen evaluiert. Vor allem kleine Kinder, aber auch Jugendliche sind oft sehr sensibel bezüglich Akzeptanz gewisser Geräte in der Mundhöhle. Um die für einen erfolgreichen Einsatz notwendige Akzeptanz eines Geräts zu erreichen, muss es einen gewissen Komfort gewährleisten und auf jeden Fall möglichst keine Schmerzen verursachen. Die Form des Gerätes sollte auf keinen Fall Angst einflössend sein, sondern sollte eher positive Assoziationen auslösen. Um diese Nebenfrage zu beantworten, wurde die unmittelbare Reaktion der Patienten beobachtet und Feedbacks nachgefragt.

5 Materialien und Methoden

5.1 Literaturrecherche

Für die Literatursuche wurden die Bibliothek des Zentrums für Zahnmedizin der Universität Zürich, sowie die medizinische Datenbank PubMed durchsucht.

Der Zeitraum der Recherche war von Januar 2014 bis September 2017. Als Suchbegriffe wurden „DIAGNOcam“, „DIAGNOcam AND deciduous tooth“, „caries detection AND deciduous tooth“, „DIAGNOcam AND primary tooth“, „caries detection AND primary tooth“, „DIAGNOdent PEN“, „VistaProof“, „FOTI“, „DIFOTI“, „DIAGNOdent pen AND deciduous tooth“, „DIAGNOdent pen AND primary tooth“, „VistaProof AND deciduous tooth“, „VistaProof AND primary tooth“, „FOTI AND deciduous tooth“, „FOTI AND primary tooth“, „DIFOTI AND deciduous tooth“, „DIFOTI AND primary tooth“, benutzt.

Zusätzlich wurden die mitgelieferten Handbücher des DIAGNOdent[®] pen und der der DIAGNOcam[®] konsultiert.

5.2 DIAGNOcam[®] 2170

Das Gerät DIAGNOcam[®] wird an der Klinik für Kieferorthopädie und Kinderzahnmedizin der Universität Zürich seit September 2014 regelmässig in Kombination mit anderen Verfahren eingesetzt, um Erfahrungen zu sammeln, inwiefern es sich eignet, um die diagnostische Qualität zu verbessern und die Akzeptanz des Gerätes bei den Kindern und deren Eltern zu prüfen.

Für diese retrospektive Studie wurden die Bilder, die mit der Version DIAGNOcam[®] 2170 (KaVo, Biberach, Deutschland) erstellt wurden, verwendet. Als Software wurde das KaVo KiD-Programm, Version 2.4.1.6456 (Kaltenbach & Voigt GmbH, Biberach, Deutschland) mit Installation auf einen HP Packard PC-Typ TouchSmart tm2, Programm Windows 7 (Microsoft Corporation, Redmond, USA), benützt (Abb. 6).

An der Klinik für Kieferorthopädie und Kinderzahnmedizin der Universität Zürich wird ein transportabler Computer verwendet, da die Untersuchungen auf verschiedenen

Behandlungstühlen erfolgen und die Patienten die eine Behandlung in Intubationsnarkose im Kinderspital Zürich brauchten, auch von der zusätzlichen Diagnostik profitieren sollten.

Das Gerät wird mit zwei verschiedenen Lichtleiter-Ansätzen (Okklusal Tip) geliefert: einem kurzen Ansatz, der „Tip small“, der für Kinder gedacht ist, und ein langer Ansatz, der „Tip large“, für Erwachsene (Abb. 2, 3 und 4).

Wie erwähnt, funktioniert das DIAGNOcam[®]-System durch Lichtleitung von apikal durch verschiedene Gewebe, die den zu untersuchenden Zahn umschliessen.

Für die klinische Anwendung bedeutet die notwendige Durchleuchtung, dass die Lichtaustrittsöffnungen möglichst weit apikal positioniert werden müssen. Eine erhöhte Elastizität der Lichtleiterarme ist deshalb extrem von Vorteil. In der Klinik wird seit der Einführungsphase aufgrund der klinischen Erfahrung ausschliesslich der lange und somit elastischere Ansatz (Tip large) verwendet, weil hiermit bessere Bilder erzielbar waren und eine Diskrepanz zwischen den Resultaten mit dem kurzen Ansatz und dem langen Ansatz bemerkt wurde (Abb. 7). Zudem wurde der Ansatz modifiziert, indem zwei Einschnitte im Bereich der beiden Arme angebracht wurden (Abb. 5). Damit wurde der bei Kindern störenden Steifheit der Lichtleiterarme weiter entgegengewirkt und mehr Flexibilität der Arme im Bereich des Alveolarfortsatzes erreicht. Dies erleichterte die Beweglichkeit des Handstücks für die Suche nach einem optimalen Bild und es wurde weniger schmerzhafter Druck im Bereich des empfindlichen Vestibulums der Patienten verursacht.

5.3 Methoden

Diese klinische retrospektive Diagnostikstudie wurde monozentrisch am Zentrum für Zahnmedizin der Universität Zürich durchgeführt. Grundlage für diese retrospektive Studie waren anonymisierte Dokumente der Untersuchung jedes regulären Patienten der Station für Kinderzahnmedizin der Universität Zürich.

Diese retrospektive Studie wurde durch die kantonale Ethikkommission des Kantons Zürich genehmigt (Gesuch BASEC-Nr. 2017-00361) (Abb. 8).

Die Ablauf einer normalen klinischen Untersuchung von Patienten welche auf der Station für Kinderzahnmedizin der Universität Zürich untersucht werden erfolgt folgendermassen: die

Untersuchung findet auf einem zahnärztlichen Behandlungsstuhl unter optimaler Ausleuchtung der Mundhöhle und ohne Lupenbrille statt. Nach einer Zahnreinigung mit Reinigungspaste auf einer rotierenden Bürste erfolgt die diagnostische Untersuchung. Zudem besteht die Möglichkeit der Nutzung von Druckluft zum Entfernen von Speichel. Die visuell-taktile Befunderhebung erfolgt grundsätzlich mit einem planen Mundspiegel (Mundspiegel RS, ORBIS dental, Münster, Deutschland) und einer abgerundeten Kuhhornsonde (Deppeler Sonde S5D, Deppeler SA, Rolle, Schweiz).

Dabei werden aller kavitierten und nicht kavitierten Läsionen dokumentiert. Kavitierte Läsionen werden aufgrund der bereits klaren Diagnose mit dem visuell-taktile Verfahren nicht zusätzlich mit DIAGNOcam[®] untersucht. Hingegen werden Milchmolaren mit klinischem Verdacht auf Approximalkaries zusätzlich mit DIAGNOcam[®] und Röntgenbilder untersucht.

Anonymisierte Unterlagen von Kindern beider Geschlechter mit vorhandenen Milchzähnen und mit geschlossenen Approximalräumen (Kariesbefall nicht klinisch beurteilbar), mit vorhandenen Röntgenbildern und vorhandenen DIAGNOcam[®]-Bildern wurden in dieser Studie eingeschlossen. Allgemeinmedizinischer Zustand und Kooperation vom Kind wurden nicht berücksichtigt.

Die Auswahl der in der Studie verwendeten Unterlagen erfolgte durch die Studienleiterin (Zahnärztin an der Klinik für Kieferorthopädie und Kinderzahnmedizin des Zentrums für Zahnmedizin der Universität Zürich). Voraussetzung war zudem die Zustimmung eines Erziehungsberechtigten zur Verwendung der Patientendaten (Abb. 9).

Die von den klinischen Standard-Untersuchungen vorhandenen Bissflügelaufnahmen oder andere aussagekräftige Röntgenbilder wurden bezüglich Karies ausgewertet. Die Klassifizierung erfolgt nach Pitts [1984] (Tabelle 1). Für diese retrospektive Studie werden allerdings nur solche Aufnahmen berücksichtigt, welche zum Stichtag (Datum der DIAGNOcam[®]-Untersuchung) maximal 4 Monate alt sind.

Alle Läsionen, die gemäss visuell-takilem und röntgenologischem Befund eine Läsion im Dentin aufweisen (D2 und D3) und somit behandlungsbedürftig waren, wurden in der Folge einer Behandlung zugeführt. In Einzelfällen erfolgte anlässlich der Kariesexkavation und Füllungstherapie eine intraoperative Beurteilung der Kariesextension (evtl. mit Fotodokumentation vor, während und nach Exkavation) (Tabelle 3).

Die angefertigt DIAGNOcam[®]-Bilder werden im Klinikalltag nur als Zusatzinformation zur Therapieentscheidung berücksichtigt, da es sich bei dem DIAGNOcam[®]-Verfahren um ein im Milchgebiss bislang klinisch nicht erprobtes Verfahren handelt, für welches auch keine validierten therapeutischen Empfehlungen vorliegen. Daher wurde die Behandlungsindikation nur auf Grundlage der üblichen und erprobten diagnostische Methoden gestellt.

Wenn die Kooperation und der allgemeinmedizinische Zustand des Patienten es erlauben, werden alle oben genannten Schritte im Wachzustand ohne Hilfe von Sedationsmittel oder Narkosen durchgeführt. Eine Rückmeldung über Druckgefühle, Schmerzen oder anderen unangenehmen Sensationen werden direkt beim Patienten nachgefragt und dokumentiert. Wenn die Kooperation nicht ausreichend ist und der allgemeinmedizinische Zustand es erlaubt, wird die operative Behandlung der kariösen Läsionen unter Hilfe eines Sedationsmittels (meistens Lachgas) durchgeführt. Wegen der durch die Sedierung veränderten Empfindungen wird keine Rückmeldung vom Patienten nachgefragt. Wenn Kooperation und allgemeinmedizinischer Zustand vom Kind für eine Behandlung im Wachzustand nicht gegeben sind, werden alle Schritte (Reinigung, visuell-taktile Untersuchung, Röntgenbilder, DIAGNOcam[®]-Bilder und operative Behandlung der kariösen Läsionen) in Intubationsnarkose am Kinderspital Zürich durchgeführt - Auch in diesem Fall wurde selbstverständlich keine Rückmeldung seitens Patienten nachgefragt-.

Die Röntgenbilder werden je nach Kooperation im Wachzustand und während der ersten Befundaufnahme oder - im Falle mangelnder Kooperation - in einer Intubationsnarkose direkt vor der operativen Behandlung der kariösen Läsion durchgeführt.

5.3.1 Auswertung

Ziel ist die Validierung der diagnostischen Aussagekraft des DIAGNOcam[®]-Verfahrens im Milchgebiss hinsichtlich Übereinstimmung zwischen DIAGNOcam[®]-Verfahren und Röntgenverfahren bezüglich der Diagnostik von kariösen Läsionen im Approximalebereich von Milchmolaren.

Die Auswertung gliedert sich im folgenden Abschnitte:

In einem ersten Schritt wurden die Röntgenbilder und die DIAGNOcam[®]-Bilder durch drei Untersucher unabhängig ausgewertet.

1. Die Röntgenbilder wurden „traditionell“ ausgewertet. Nach Pitts [1984] (Tabelle 1) wurden die Approximalflächen ohne Radioluzenz als D0 bewertet, diejenigen mit einer Radioluzenz in der äusseren Hälfte des Schmelzes begrenzt als D1, die mit einer Radioluzenz bis zur innersten Hälfte des Schmelzes als D2 und diejenigen, die bereits Dentin befallen haben, als D3.

Gemäss WHO [1997] wurden nur die D3-Läsionen als behandlungsbedürftige Läsionen eingestuft.

2. Die DIAGNOcam[®]-Bilder wurden nach einem ähnlichen Prinzip wie die Röntgenbilder ausgewertet: Ein Approximalbereich ohne Verschattung wurde als Grad 0 bezeichnet, eine kleine Verschattung in der äusseren Hälfte des Schmelzes wurde als Grad 1, die Verschattungen bis zur innersten Hälfte des Schmelzes wurden als Grad 2 und jene, die bereits die Dentin erreicht hatten, wurden als Grad 3 bezeichnet (Tabelle 4 und Abb. 10).

Die gesamte Auswertung durch die drei verschiedenen Zahnärzte kann in der Tabelle 6 gesehen werden.

Einige Beispiele von Röntgenbilder und DIAGNOcam[®]-Bilder sind in den Abbildungen 11, 12 und 13 sichtbar.

Übereinstimmung zwischen Untersucher (inter-rater reliability):

Die Daten wurden mittels deskriptiver Statistik anhand von absoluten und relativen Häufigkeiten ausgewertet. Die Übereinstimmung der drei Untersucher hinsichtlich der Karies-Kategorisierung anhand von Röntgenbildern (RU1, RU2, und RU3) oder DIAGNOcam[®] (DU1, DU2, und DU3) wurde in Paaren mit der Kappa-Statistik (κ) und den entsprechenden 95% Konfidenzintervallen (95% KI) ausgewertet. Der Grad der Übereinstimmung lässt sich nach Landis und Koch [1977] wie folgt bewerten:

- $\kappa \leq 0,1$: keine Übereinstimmung
- $0,1 < \kappa \leq 0,4$: schwache Übereinstimmung
- $0,4 < \kappa \leq 0,6$: deutliche Übereinstimmung
- $0,6 < \kappa \leq 0,8$: starke Übereinstimmung
- $0,8 < \kappa \leq 1$: (fast) vollständige Übereinstimmung.

Übereinstimmung der Kategorisierung zwischen Röntgenbilder und DIAGNOcam[®] (agreement):

Die Übereinstimmung der beiden diagnostischen Methoden wurde zuerst für jede Untersucher (U1, U2, und U3) separat ausgewertet. Zusätzlich wurde die Karies-Kategorisierung der drei

Untersucher anhand von Röntgenbilder zusammengefasst, mit doppelter Gewichtung des erfahrenersten Untersuchers (HvW) gegenüber den anderen beiden Untersuchern (AV, VD). Diese Prozedur wurde dann analog für die Karies-Kategorisierung der drei Untersucher anhand von DIAGNOcam[®] vorgenommen, damit die allgemeine Übereinstimmung zwischen Röntgenbilder (Rcomb) und DIAGNOcam[®] (Dcomb) mit Kappa-Statistik mit der gleichen Bewertung wie vorher ausgewertet werden kann. Zuletzt wurde der Einfluss von verschiedenen Zahn-Charakteristika (Oberkiefer versus Unterkiefer / 1. Milchmolar versus 2. Milchmolar / distale Läsion versus mesiale Läsion) auf die Übereinstimmung der beiden Methoden mit Subgruppen-Analyse ausgewertet. Alle Analysen wurden mit dem Statistikprogramm Stata 14,0 (StataCorp, College Station, TX, USA) und Alpha = 5% durchgeführt.

5.4 Dokumentation und Datenschutz

Die Daten wurden bei der Auswertung in anonymisierter Form mit der Zuordnung einer zufälligen Zahl verwendet. Zugang zum Verschlüsselungscode hatte ausschliesslich die Studienleiterin (med. dent. Assunta Villano).

6 Ergebnisse

6.1 Beschreibung des Patientenguts

Insgesamt wurden die Unterlagen von 40 Patienten anhand der Selektionskriterien zwischen September 2014 und Mai 2017 überprüft. 25 Fälle waren geeignet, um in diese Studie eingeschlossen zu werden. Von diesen 25 Patienten waren 12 (48%) männlich und 13 (52%) weiblich. Der Altersdurchschnitt betrug 7 Jahren (Standardabweichung von 2 Jahren; Range 5 bis 9 Jahren).

Fünfzehn Patienten und 55 Flächen wurden aufgrund fehlenden Einverständnisses seitens Erziehungsberechtigter oder überlappender Approximalflächen und nicht beurteilbarem Röntgenbild ausgeschlossen.

Insgesamt wurden von 25 Patienten, 105 kariöse Läsionen in die Studie eingeschlossen, die gleichmässig anhand von Kiefer, Mundseite, Zahntyp, und Läsionsposition verteilt sind (Tabelle 13). Von den 105 eingeschlossenen Läsionen, sind 51 (48,6%) im Oberkiefer und 54 (51,4%) im Unterkiefer, 58 (55,2%) sind auf der linken Seite und 47 (44,8) auf der rechten Seite, 62 (59,1%) sind auf zweiten Milchmolaren und 43 (40,9%) auf erste Milchmolaren, und 54 (51,4%) sind auf mesialen Zahnflächen und 51 (48,6%) sind auf distalen Zahnflächen (Tabelle 12).

6.2 Auswertung der Läsionen

Die Auswertung der eingeschlossenen Läsionen durch die drei Untersucher mittels DIAGNOcam[®] oder Röntgenbildern ist analytisch in Tabelle 6 und als Übersicht in Tabelle 7 dargestellt.

Die eingeschlossene Läsionen wurden in unterschiedliche Gradbezeichnungen unterteilt für den zwei Methoden als Grad 0 (DIAGNOcam[®] 31,4% - Röntgenbilder 27,6 %), Grad 1 (DIAGNOcam[®] 18,1% - Röntgenbilder 13,3%), Grad 2 (DIAGNOcam[®] 21,0% - Röntgenbilder 14,3%) und Grad 3 (DIAGNOcam[®] 24,8% - Röntgenbilder 41,0%).

6.3 Übereinstimmung jeder diagnostischen Methode zwischen Untersucher – Reproduzierbarkeit

Die Kreuz-Tabellierung der Läsion-Einteilung zwischen den drei Untersuchern kann in Tabelle 8 gesehen werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Kappa Werte für DIAGNOcam® zwischen 0,30 und 0,49 liegen (Tabelle 9). Dies bedeutet, dass die Übereinstimmung unter den drei Untersuchern für DIAGNOcam® schwach bis deutlich ist.

Auf der anderen Seite liegen die Kappa Werte für die Übereinstimmung der Untersucher bei den Röntgenbildern zwischen 0,54 und 0,61 (Tabelle 9). Dies bedeutet, dass die Übereinstimmung der drei Untersuchern für die Röntgenbilder grösser ist und als deutlich bezeichnet werden kann.

6.4 Übereinstimmung der beiden diagnostischen Methoden – Zuverlässigkeit

Die Kreuz-Tabellierung der Läsions-Einteilung zwischen DIAGNOcam® und Röntgenbilder für jeden einzelnen der drei Untersuchern oder insgesamt können auf Tabelle 10 gesehen werden. Die Auswertung zeigt, dass die Kappa Werte für die Übereinstimmung der beiden Methoden unter den drei Untersuchern zwischen 0,14 und 0,31 liegt. Das spricht für keine bis schlechte Übereinstimmung zwischen den beiden Methoden. Der Kappa Wert für die gesamte Übereinstimmung zwischen DIAGNOcam® und Röntgenbilder ist 0,33 (Tabelle 11), was für eine schwache Übereinstimmung der beiden Methoden spricht.

6.5 Faktoren assoziiert mit der Zuverlässigkeit der DIAGNOcam®

Die Charakteristika der eingeschlossene Zahnfläche wurden in Subgruppen-Analysen benutzt, um einen möglichen Einfluss auf die Zuverlässigkeit der DIAGNOcam®-Verfahrens zu untersuchen (Tabelle 12). Die Ergebnissen zeigen, dass die Zuverlässigkeit der DIAGNOcam® verglichen zu dem Gold Standard der Röntgenbilder insgesamt höher für Oberkiefer-Zähne als für Unterkiefer-Zähne ist (Kappa=0,37 verglichen mit Kappa = 0,26). Der Einfluss der anderen Faktoren ist eher niedriger, als ähnliche Kappa Werte wurden gefunden für zweite vs. erste Milchmolaren (Kappa=0,36 verglichen mit Kappa = 0,31) und für distale Läsionen vs. mesiale Läsionen (Kappa=0,32 verglichen mit Kappa = 0,35). Die

Kappa Werten sind jedoch immer unter 0,40 und dass bedeutet, dass die Übereinstimmung zwischen DIAGNOcam[®] und Röntgenbilder immer noch schwach ist.

7 Diskussion

Die Bedeutung der Milchdentition für eine korrekte Ernährung und regelgerechte Gebissentwicklung wird auch heutzutage noch sehr oft unterschätzt. Die Forschung auf dem Gebiet der Kariesdiagnostik ist hauptsächlich auf die bleibende Dentition gerichtet. Aufgrund der multiplen Aufgaben der Milchdentition, der biologischen und psychologischen Besonderheiten der jungen Bevölkerung sollte die Forschung mehr in diese Richtung fokussiert werden. Oft werden neue Systeme und Instrumente ohne Berücksichtigung der oben genannten Besonderheiten entwickelt.

Kariesdiagnostik ist in den letzten Jahrzehnten deutlich anspruchsvoller geworden. Während früher ein kurzer Blick in die Mundhöhle genügte, um festzustellen, ob Karies bei einem Zahn vorhanden war oder nicht (meistens war damals schon die Okklusalfäche kariös, bevor approximale Läsionen entstanden), muss man heute davon ausgehen, dass nicht nur die Anzahl der Läsionen, sondern auch deren Ausdehnung kleiner geworden ist. Das erschwert vor allem die rechtzeitige Diagnostik im Approximalbereich.

Eine ausreichende Forschung und entsprechende Publikationen über die Kariesdetektionsverfahren im Milchgebiss sind im Vergleich zu denen über die bleibende Dentition nur begrenzt verfügbar.

Aufgrund der vorliegenden Literatursuche kann keines der vorgestellten Verfahren als alleinige Methode für die Kariesdiagnostik im Milchgebiss empfohlen werden. Die Mehrheit der Publikationen empfiehlt eine Kombination mehrerer Verfahren, um die Spezifität und die Sensitivität zu erhöhen. Eine Übersicht über diese Methoden befindet sich in der Tabelle 14.

Im Vergleich zu den anderen Methoden hat die DIAGNOcam[®] die wesentlichen Vorteile, dass sie keine gesundheitlichen Nebenwirkungen aufweist und dass sie speicherbare Bilder erzeugt. Trotzdem, handelt es sich wie bei vielen andere Methoden, um ein qualitatives Verfahren, das eine subjektive Interpretation braucht. Anderen Verfahren, wie die elektrische Widerstandmessung, das VistaProof[®] und das DIAGNOdent[®] pen, liefern quantitative Resultate, die den Befund objektivieren. Die Indikation zur Behandlung bleibt dennoch subjektiv, weil meist eindeutige Grenzwerte fehlen. Auf den Markt gibt es keine perfekte

Methode und jede weist Vor- und Nachteile auf. Jede einzelne Methode kann durch externe Faktoren beeinflusst werden.

Der wesentliche potentielle Nutzen des zweite, klinischen Teils dieser Arbeit, der Retrospektivstudie liegt in der Verbesserung der Behandlungsplanung durch gezielte Erkennung der kariösen Läsionen im Milchgebiss ohne schädliche Nebenwirkungen für die Gesundheit des Kindes und der Jugendlichen. Im Falle der klinischen Eignung des DIAGNOcam[®]-Verfahrens in der Milchdentition ergibt sich die Möglichkeit, in bestimmten Situationen auf Röntgenaufnahmen zu verzichten, was zu einer Minimierung der Exposition der diesbezüglich besonders empfindlichen jungen Bevölkerung mit ionisierenden Strahlen beiträgt [APS 2013].

Diese Studie wurde spezifisch für Milchzähne durchgeführt, da einerseits bereits vergleichbare Studien über das DIAGNOcam[®]-Verfahren in der bleibenden Dentition vorliegen, andererseits, damit auch die junge Bevölkerung allenfalls von dieser neuen Technologie profitieren kann. Der wesentliche Nutzen für junge Patienten ist, dass sie, mit einer sicheren und nicht gesundheitsschädlichen Methode jederzeit untersucht werden können, sodass auch eine Therapie rechtzeitig und kindergerecht geplant und durchgeführt werden kann.

Die bereits vorhandenen in vivo Studien über die DIAGNOcam[®] in der bleibenden Dentition [KÜNISCH et al. 2016, SÖCHTIG et al. 2014] zeigen sehr gute Resultate bezüglich Spezifität und Sensitivität dieses Gerätes zur Diagnostik der Approximalkaries. Studien, die den Einsatz in der Milchdentition aufweisen gibt noch keine.

Die praktische Erfahrung in der Kinderzahnmedizin zeigt, dass bei Kindern das Aussehen und die Bezeichnung der gebrauchten Geräte wichtig sind für die Akzeptanz. Die Fantasie der Kinder kann sehr einfach positiv und negativ beeinflusst werden. Der Name „DIAGNOcam[®]“ weckt keine positiven (aber auch keine negativen) Bilder im Kopf des Kindes, das Aussehen des Gerätes dagegen kann eine gewisse Angst auslösen. Bei der Auswendung der DIAGNOcam[®] am wachen Patienten beobachten wir in den täglichen Praxis oft negative Reaktionen seitens der Kinder beobachtet werden. Erst nach einer ausführlichen Erklärung mit praktischer Demonstration der Harmlosigkeit kann die Untersuchung durchgeführt werden. Die Untersuchung geht trotzdem nicht immer ohne Probleme: sehr oft empfanden die Kinder das Druckgefühl als unangenehm. Mit der von uns durchgeführten Modifikation des Ansatzes

mittels Einschnitten an den Kamera-Armen wurde die Situation leicht verbessert, aber die Probleme nicht vollständig gelöst.

Kinder haben eine natürliche Neugier, was dann zum Problem wird, wenn sie unbedingt am PC-Bildschirm das sich bewegende Bild schauen wollen und deshalb den Kopf ständig in Richtung des Monitors bewegen. Das Ganze wird zusätzlich durch die Funktionsweise der DIAGNOcam[®] erschwert: während der Zahnarzt das Mundstück im Mund richtig platzieren muss, muss er gleichzeitig auf den Bildschirm schauen, was zusätzlichen Bewegungen der Kamera verursachen kann. Falls die Aufnahme der Bilder manuell am Kamera-Arm erfolgt, kann dies ebenfalls zu unerwünschten Bewegungen führen. Das Aufnehmen eines repräsentativen, richtig zentrierten Bildes, ist daher manchmal schwierig.

Die Schwierigkeiten ein repräsentatives statisches Bild zu erzeugen, ergeben sich aus der Tatsache, dass eine 3D-Situation in einem 2D-Bild festgehalten wird. Das Live-Video gibt dem Kliniker allgemein mehr Informationen. Im Falle der Milchdentition ist es oft noch schwieriger, ein repräsentatives, deutliches und scharfes Bild zu erzeugen als im bleibenden Gebiss. Das kann unter anderem an Faktoren daran liegen wie:

- Anatomie der Milchmolaren
- Verminderte Dicke des Schmelzes
- Verminderter Mineralisationsgrad von Schmelz und Dentin, der in einer nicht deutliche Grenze im DIAGNOcam[®]-Bild resultieren könnte
- Lage der Keime der bleibenden Zahn
- Resorption der Wurzeln der Milchmolaren

Alle diese Faktoren, die sich deutlich von der bleibenden Dentition unterscheiden, könnten die Lichtleitung negativ beeinflussen.

Aufgrund der Funktionsweise des DIAGNOcam[®]-Gerätes sind Versuche am Modell unmöglich. Ein in vitro-Modell, das allen in vivo Bedingungen entspricht, im Sinne von Lichtleitung der Gewebe (Gingiva, Knochen, Parodont und Pulpa) ist bis heute nicht verfügbar. Die Ergebnisse einer in vitro Studie würden deshalb nie der klinische Realität entsprechen.

Eine gewisse Lernphase bei der Anwendung der DIAGNOcam[®] war aber notwendig. Während dieser Lernphase wurden beide Licht-Arme (Tip Small und Tip Large) ausprobiert. Für das Milchgebiss wurde die kleine Version, der Tip Small, vom Hersteller mitgeliefert.

Trotz der kleinen Differenz zwischen den beiden Tips (ca. 2mm, s. Bild 2), wies der Tip Small eine niedrigere Sensitivität auf. Die Ursache könnte auf die Lichtleitung der Licht-Arme zurückgeführt werden: die Licht-Arme müssen so weit apikal wie möglich platziert werden. Die Milchzähne weisen sehr oft sehr lange Wurzeln auf. Falls das Licht nicht genügend weit von apikal kommt, können die Resultate beeinflusst werden. Studien welche diese Vermutung unterstützen fehlen jedoch. Die Aussage basiert nur auf die subjektive Erfahrung aus der Klinik für Kinderzahnmedizin der Universität Zürich.

In der Kreuz-Tabellierung der Läsions-Einteilung zwischen den drei Untersuchern (Tabelle 8) zeigen die Ergebnisse, dass die Kappa Werte für DIAGNOcam[®] zwischen 0,30 und 0,49 lagen (Tabelle 9). Dies bedeutet, dass die Übereinstimmung zwischen den drei Untersuchern für DIAGNOcam[®] schwach bis deutlich ist. Auf der anderen Seite liegen die Kappa Werte für die Übereinstimmung der Untersucher bei den Röntgenbildern zwischen 0,54 und 0,61 (Tabelle 9). Dies bedeutet, dass die Übereinstimmung der drei Untersucher für die Röntgenbilder größer ist und als deutlich bezeichnet werden kann.

Die Resultate zeigen eine gute Übereinstimmung der drei Untersucher für das Röntgenbild aber keine Übereinstimmung für DIAGNOcam[®]. Das könnte teilweise erklärt werden mit dem mässigen Informationsgehalt der statischen DIAGNOcam[®]-Bilder (s. oben). Wie bereits erwähnt, liefert das, mit dem Standardprogramm nicht speicherbare, Live-Video dem Untersucher deutlich mehr Informationen, als ein einziges 2-D-Bild.

Die Kreuz-Tabellierung der Läsions-Einteilung zwischen DIAGNOcam[®] und Röntgenbilder für jeden einzelnen der drei Untersuchern oder insgesamt in der Tabelle 10 zeigt, dass die Kappa Werte für die Übereinstimmung der beiden Methoden innerhalb der drei Untersuchern zwischen 0,14 und 0,31 liegen. Das spricht für keine bis schlechte Übereinstimmung zwischen den beiden Methoden. Der Kappa Wert für die Übereinstimmung bei allen Untersuchern zwischen DIAGNOcam[®] und Röntgenbilder ist 0,33 (Tabelle 11), was für eine schwache Übereinstimmung der beiden Methoden spricht.

Die Resultate zeigen schwache Übereinstimmung zwischen Röntgenbilder und DIAGNOcam[®]. Die Röntgenbilder werden in dieser Studie als Goldstandard benutzt, wobei sie auch nicht eine 100%ige Sensitivität und Spezifität erhalten (im Gegensatz zu der histologischen Auswertung von Kariesläsionen).

Die Ergebnisse zeigen, dass die Zuverlässigkeit der DIAGNOcam[®] verglichen mit dem Gold Standard Röntgenbilder insgesamt höher für Oberkiefer-Zähne als für Unterkiefer-Zähne ist (Kappa = 0,37 verglichen mit Kappa = 0,26). Das kann eventuell auf die unterschiedliche Zahnform oder auf die unterschiedliche Wurzelkonfiguration zurück zu führen sein.

Der Einfluss der anderen Faktoren ist eher niedriger, da ähnliche Kappa Werte gefunden wurden für zweite vs. erste Milchmolaren (Kappa=0,36 verglichen mit Kappa = 0,31) und für distale Läsionen vs. mesiale Läsionen (Kappa=0,32 verglichen mit Kappa = 0,35). Die Kappa Werte sind jedoch immer unter 0,40, was bedeutet, dass die Übereinstimmung zwischen DIAGNOcam[®] und Röntgenbilder immer noch schwach ist.

Als Retrospektivstudie waren die Bedingungen nicht standardisiert, dafür können die Ergebnisse der Studie auf eine weitere Patientenpopulation generalisiert werden da sie eher dem diagnostischen Alltag entsprechen. Das könnte die Resultate unter Umständen auch beeinflussen. Zum Beispiel die unterschiedliche Projektion der Röntgenbilder, der hohe Diversität des Patientengutes und geringe Anzahl Patienten im gleichen dentalen Alter und mit gleichem Wurzelresorptionszustand. Eine Einfluss der Lage der Keime des bleibenden Zahnes oder der Stand der Wurzelresorption des Milchzahnes auf die Sensitivität und die Spezifität des Gerätes konnte nicht eruiert werden.

Mehrere Patientenuntersuchungen und eventuell Auswertungen der Live-Video anstatt der 2-D-Bild sind notwendig.

8 Relevanz für die Praxis

Die Akzeptanz bei Kindern und deren Erziehungsberechtigter ist gemäss unserer Erfahrung gut gewesen.

In wie weit die Methode in tägliche Praxis akzeptiert würde bleibt abzuwarten. Wie bei anderen Methoden und Geräten ist vor allem am Anfang eine Lernphase notwendig. dies betrifft sowohl die intraorale Anwendung wie auch das Computerprogramm, welches in der für die Studie verwendeten Version noch nicht völlig ausgereift schien und verschiedentlich zu Abstürzen mit notwendigem Neustart führte.

Es bleibt unklar, wie gross der Nutzen des Verfahrens in der Milchdentition ist. Aufgrund des Fehlens schädlicher Strahlen kann die Anwendung bei Kindern zwar häufiger erfolgen als Röntgenuntersuchungen, solange aber der diagnostische Nutzen nicht völlig klar ist, bleibt die Indikation für die DIAGNOcam[®] fragwürdig.

Es sind weitere Studien notwendig mit grösseren Patientenzahlen, um auch den Einfluss der Wurzelresorption und Lage des Nachfolgerzahnes deutlicher herausarbeiten zu können.

Die Resultate unserer Studie zeigten keine deutliche Nutzen des DIAGNOcam[®]-Verfahrens in der Milchdentition. Weitere Studien sind auf jeden Fall notwendig zur Bestätigung und Konsolidation diese Ergebnisse.

9 Literaturverzeichnis

Abdelaziz M, Krejci I: DIAGNOcam - A near infrared digital imaging transillumination (NIDIT) technology. *International Journal of Esthetic Dentistry* 10: 158-65 (2015)

Abogazalah N, Ando M: Alternative methods to visual and radiographic examinations for approximal caries detection. *Journal for Oral Science* 59(3): 315-322 (2017)

Alomari QD, Qudimat M, Khalaf ME, Al-Tarakemah Y: The effect of combining radiographs and DIAGNOdent with visual examination on detection and treatment decisions of noncavitated occluso-dentinal caries. *Operative Dentistry* 40: 313-21 (2015)

Aps JKM: Cone beam computed tomography in paediatric dentistry: overview of recent literature. *European Archives of Paediatric Dentistry* 14: 131-140 (2013)

Ashley P: Diagnosis of occlusal caries in primary teeth. *International Journal of Paediatric Dentistry* 10: 166-71 (2000)

Bader JD, Shugars DA, Bonito AJ: A systematic review of the performance of methods for identifying carious lesions. *Journal of Public Health Dentistry* 62: 201-13 (2002)

Baelum V: What is an appropriate caries diagnosis? *Acta Odontologica Scandinavica* 68: 65-79 (2010)

Bernstein WJ: A splendid exchange; how trade shaped the world. Atlantic Monthly Press. Kindle Edition p. 205-207 (2009)

Betrissey E, Rizcalla N, Krejci I, Ardu S: Caries diagnosis using light fluorescence devices: VistaProof and DIAGNOdent. *Odontology* 102: 330-5 (2013)

Braga MM, de Benedetto MS, Imparato JC, Mendes FM: New methodology to assess activity status of occlusal caries in primary teeth using laser fluorescence device. *Journal of Biomedical Optics* 15: 047005 (2010)

Costa AM, Yamaguti PM, De Paula LM, Bezerra AC: in vitro study of laser diode 655 nm diagnosis of occlusal caries. *Journal of Dentistry for Children* 69: 249-53 (2002)

Diecke M: Vergleichende Untersuchung zur Validität und Reliabilität unterschiedlicher Methoden der Okklusalkariesdiagnostik. Dissertation Universitätsmedizin Berlin (2009)

Eberhart J, Frentzen M, Thoms M: Neue optische Methoden zur Kariesdetektion - Fluoreszenzbasierte Verfahren zur Erkennung nichtkavierter Läsionen. *ZWR - Das Deutsche Zahnärzteblatt* 116: 148-156 (2007)

Ekstrand KR, Kuzmina I, Bjørndal L, Thylstrup A: Relationship between external and histologic features of progressive stages of caries in the occlusal fossa. *Caries Research* 29: 243-50 (1995)

Ekstrand KR, Ricketts DN, Kidd EA: Reproducibility and accuracy of three methods for assessment of demineralization depth of the occlusal surface: an in vitro examination. *Caries Research* 31: 224-31 (1997)

Emde F: Kariesdiagnostik mit der DIAGNOcam: Historie, Entwicklung, Praxis. *Zahnheilkunde Management Kultur* (29)3: 132-136 (2013)

Gimenez T, Piovesan C, Braga MM, Raggio DP, Deery C, Ricketts DN, Ekstrand KR, Mendes FM.: Clinical relevance of studies on the accuracy of visual inspection for detecting caries lesions: a systematic review. *Caries Research* 49: 91-8 (2015)

Haldi J, Wynn W, Shaw JH, Sognnaes RF: The relative cariogenicity of sucrose when ingested in the solid form and in solution by the albino rat. *Journal of Nutrition* 49: 295-306 (1953)

Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung; Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie. 6. Auflage. Deutscher Zahnärzte Verlag (2013)

Hibst R, Paulus R, Lussi A: Detection of occlusal caries by laser fluorescence: Basic and clinical investigations. *Medical Laser Application* 16: 205-213 (2001)

Holt RD, Azevedo MR: Fibre optic transillumination and radiographs in diagnosis of approximal caries in primary teeth. *Community Dental Health Journal* 6: 239-47 (1989)

Imfeld T: Nutrition, diet and dental health - de- and remineralisation of teeth. *Therapeutische Umschau* 65: 69-73 (2008)

KaVo: Gebrauchsanweisungen DIAGNOdent[®] pen 2190. KaVo. Dental Excellence (2001)

Kite OW, Shaw JH, Sognnaes RF: The prevention of experimental tooth decay by tube-feeding. *Journal of Nutrition* 42: 89-105 (1950)

Krejci D, Abdelaziz M, Krejci I: DIAGNOcam - eine neuartige, laserbasierte, bildgebende Methode zur Approximalkariesdiagnostik. *Dentastic* 6:12-13 (2012)

Kucukyilmaz E, Sener Y, Botsali MS: In vivo and in vitro performance of conventional methods, DIAGNOdent, and an electronic caries monitor for occlusal caries detection in primary teeth. *Pediatric Dentistry* 37: E14-22 (2015)

Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R, Hickel R: Etablierte und neue Methoden zur Kariesdetektion und -diagnostik. *Oralprophylaxe & Kinderzahnheilkunde* 106(32):106-112 (2010)

Kühnisch J, Söchtig F, Pitchika V, Laubender R, Neuhaus KW, Lussi A, Hickel R: In vivo validation of near-infrared light transillumination for interproximal dentin caries detection. *Clinical Oral Investigation* 20: 821-9 (2016)

Kühnisch J: Kariesdetektion und -diagnostik. Eine aktuelle Standortbestimmung. *Stomatologie* 111: 160-165 (2014)

Landis JR, Koch GG: The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 33:159-174 (1977)

Longbottom C, Huysmans MC: Electrical measurements for use in caries clinical trials. *Journal of Dental Research* 83 Spec No C: C76-9 (2004)

Lussi A, Hotz P: Approximal and smooth-surface caries. Their diagnosis and therapeutic principles. *Schweizerische Monatsschrift für Zahnmedizin* 105: 1438-45 (1995)

Lussi A, Longbottom C, Gygax M, Braig F: Influence of professional cleaning and drying of occlusal surfaces on laser fluorescence in vivo. *Caries Research* 39: 284-6 (2005)

Lussi A, Reich E: The influence of toothpastes and prophylaxis pastes on fluorescence measurements for caries detection in vitro. *European Journal of Oral Sciences* 113: 141-4 (2005)

Lussi A, Schroeder A: Methods for the diagnosis and follow-up of caries. When to drill? *Schweizerische Monatsschrift für Zahnmedizin* 108: 357-70 (1998)

Lussi A, Zimmerli B, Hellwig E, Jaeggi T: Influence of the condition of the adjacent tooth surface on fluorescence measurements for the detection of approximal caries. *European Journal of Oral Sciences* 114: 478-82 (2006)

Lussi A: Comparison of different methods for the diagnosis of fissure caries without cavitation. *Caries Research* 27: 409-16 (1993)

Lussi A: Validity of diagnostic and treatment decisions of fissure caries. *Caries Research* 25: 296-303 (1991)

Madrid C, Abarca M, Bouferrache K, Gehri M, Bodenmann P, Pop S: The impact of childhood caries. *Revue Médicale Suisse* 8: 764-8 (2012)

Marthaler TM, Steiner M, Bandi A: Will discolored molar fissures within 4 years become carious more frequently than nondiscolored ones? Observations from 1975 to 1988. *Schweizerische Monatsschrift für Zahnmedizin* 100: 841-6 (1990)

Marthaler TM: Salt fluoridation and oral health. *Acta Medica Academica* 42: 140-55 (2013)

Mejàre I, Stenlund H, Zelezny-Holmlund C: Caries incidence and lesion progression from adolescence to young adulthood: a prospective 15-year cohort study in Sweden. *Caries Research* 38: 130-41 (2004)

Mendes FM, Novaes TF, Matos R, Bittar DG, Piovesan C, Gimenez T, Imparato JCP, Raggio DP, Braga MM: Radiographic and laser fluorescence methods have no benefits for detecting caries in primary teeth. *Caries Research* 46: 536-43 (2012)

Menghini G, Steiner M, Imfeld T: Early childhood caries--facts and prevention. *Therapeutische Umschau* 65: 75-82 (2008 a)

Menghini G, Steiner M, Thomet E, Roos M, Imfeld T: Caries prevalence in 2-year-old children in the city of Zurich. *Community Dental Health Journal* 25: 154-60 (2008 b)

Meyer-Lückel H, Paris S, Ekstand K: Karies; Wissenschaft und klinische Praxis. Georg Thieme Verlag (2012)

Novaes TF, Moriyama CM, De Benedetto MS, Kohara EK, Braga MM, Mendes FM: Performance of fluorescence-based methods for detecting and quantifying smooth-surface caries lesions in primary teeth: an in vitro study. *International Journal of Paediatric Dentistry* 26: 13-9 (2016)

Nyvad B, Machiulskiene V, Baelum V: Reliability of a new caries diagnostic system differentiating between active and inactive caries lesions. *Caries Research* 33: 252-60 (1999)

Pagliaro L: Klinische Validierung der Okklusalkariesdiagnostik mittels laserinduzierte Fluoreszenz. Dissertation Universität Zürich (2002)

Peers A, Hill FJ, Mitropoulos CM, Holloway PJ: Validity and reproducibility of clinical examination, fibre-optic transillumination, and bite-wing radiology for the diagnosis of small approximal carious lesions: an in vitro study. *Caries Research* 27: 307-11 (1993)

Pitts NB, Rimmer PA: An in vivo comparison of radiographic and directly assessed clinical caries status of posterior approximal surfaces in primary and permanent teeth. *Caries Research* 26(2): 146-52 (1992)

Pretty IA: Caries detection and diagnosis: Novel technologies. *Journal of Dentistry* 34: 727-739 (2006)

Raper HR: Practical clinical preventive dentistry based upon the periodic roentgen-ray examination. *Journal of American Dentistry Association* 12:1084-1100 (1925)

Ricketts D: The eye have it: How good is DIAGNOdent at detecting caries? *Evidence-Based Dentistry* 6(3): 64-5 (2005)

Ricketts DN, Kidd EA, Liepins PJ, Wilson RF: Histological validation of electrical resistance measurements in the diagnosis of occlusal caries. *Caries Research* 30: 148-55 (1996)

Rodrigues JA, Hug I, Diniz MB, Lussi A: Performance of fluorescence methods, radiographic examination and ICDAS II on occlusal surfaces in vitro. *Caries Research* 42: 297-304 (2008)

Schroeder HE: Orale Strukturbiologie – Entwicklungsgeschichte, Struktur und Funktion normaler Hart- und Weichgewebe der Mundhöhle. Thieme (1976)

Selwitz RH, Ismail AI, Pitts NB: Dental caries. The Lancet 369: 51-9 (2007)

Söchtig F, Hickel R, Kühnisch J: Caries detection and diagnostics with near-infrared light transillumination: clinical experiences. Quintessence International 45: 531-8 (2014)

Sumikawa DA, Marshall GW, Gee L, Marshall SJ: Microstructure of primary tooth dentin. Pediatric Dentistry 21: 439-44 (1999)

Thoms M: Detection of intraoral lesions using a fluorescence camera. Proceedings of SPIE. Lasers in Dentistry XII 6137: 1–7 (2006)

Touger-Decker R, van Loveren C: Sugars and dental caries. American Journal of Clinical Nutrition 78: 881S-92S (2003)

Van Waes H: Füllungstherapie kariöser Milchmolaren: Materialien und Methoden. Schweizerische Monatsschrift Zahnmedizin 103: 947-57 (1993)

Van Waes HJM, Stöckli PW: Farbatlanten der Zahnmedizin Band 17. Kinderzahnmedizin. Georg Thieme Verlag (2001).

Watanabe M, Wang DH, Ijichi A, Shirai C, Zou Y, Kubo M, Takemoto K, Masatomi C, Ogino K: The influence of lifestyle on the incidence of dental caries among 3-year-old Japanese children. International Journal of Environmental Research and Public Health 11: 12611-22 (2014)

Wenzel A, Larsen MJ, Fejerskov O: Detection of occlusal caries without cavitation by visual inspection, film radiographs, xeroradiographs, and digitized radiographs. Caries Research 25: 365-71 (1991)

Wenzel A, Verdonschot EH, Truin GJ, König KG: Accuracy of visual inspection, fiber-optic transillumination, and various radiographic image modalities for the detection of occlusal caries in extracted non-cavitated teeth. Journal of Dental Research 71: 1934-7 (1992)

Wilde C: Fluoreszenzoptische Kariesdetektion bei restaurierten Zähnen. Dissertation Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn (2013)

World Health Organisation. Oral Health Surveys. Basic Methods, 4th edition. WHO (1997)

Young DA: New caries detection technologies and modern caries management: merging the strategies. General Dentistry 50: 320-31 (2002)

Zeng X, Sheiham A, Sabbah W: The association between dental caries and television viewing among Chinese adolescents in Guangxi, China. BMC Oral Health 14: 138 (2014)

Zohrabian VM, Poon CS, Abrahams JJ: Embryology and Anatomy of the Jaw and Dentition. Seminar in Ultrasound, CT and MRI 36: 397-406 (2015)

10 Tabellen

Tabelle 1: Röntgenologische Kategorisierung der Kariesgrade nach Pitts [1984]

Deskription	Gradbezeichnung
Keine Radioluzenz	0
Radioluzenz auf äusserste Hälfte des Schmelzes begrenzt	1
Radioluzenz bis zur innersten Hälfte des Schmelzes sichtbar	2
Radioluzenz bis ins Dentin	3

Tabelle 2: Kariesausmass nach DIAGNOdent[®]pen-Wert [KaVo 2001]

a) für die Fissuren und die Glattflächen

0-12	gesunde, kariesfreie Oberfläche
13-24	demineralisierte Oberfläche
25-99	kariöse Läsion im Dentin

b) für Approximalflächen

0-7	gesunde, kariesfreie Oberfläche
8-15	demineralisierte Oberfläche
16-99	kariöse Läsion im Dentin

Tabelle 3: Klinische Kriterien zur Beschreibung der Charakteristik des Kavitätenbodens
[WHO 1997]

Härte	Farbe	Konsistenz
Hart Härte vergleichbar mit gesundem Dentin	Hellgelb/Gelblich Vergleichbar mit gesundem Dentin	Trocken Vergleich mit gesundem Dentin
Mittelhart Mit Kraftaufwand dringt die Sonde in kariös verändertes Dentin ein	Hellbraun	Medium Der Grad der Feuchtigkeit liegt zwischen feucht und trocken
Weich Die Sonde dringt leicht in kariös verändertes Dentin ein	Schwarz/Braun	Feucht Bei Sondierung tritt Flüssigkeit aus dem Dentin aus

Tabelle 4: Kariesgrade des DIAGNOcam[®]-Bildes der für das bleibende Gebiss
[ABDELAZIZ et al. 2015, SÖCHTIG et al. 2014]

Deskription	Gradbezeichnung
Keine Verschattung	0
Verschattung auf äusserste Hälfte des Schmelzes begrenzt	1
Verschattung bis zur innersten Hälfte des Schmelzes sichtbar	2
Verschattung bis ins Dentin	3

Tabelle 5: Rohdaten zu den untersuchten Läsionen und ihren Charakteristika

Patientennummer	Geschlecht	Alter (Jahre)	Zahn
1	Weiblich	7	64d 65m
2	Weiblich	6	54d 55m 64d 65m 74d 75m 84d 85m
3	Weiblich	6	84d 85m
4	Weiblich	8	84d 85m
5	Weiblich	6	74d 75m 84d 85m
6	Männlich	7	55m 64d 65m 74d 75m 85m
7	Weiblich	6	85m
8	Männlich	7	54d 55m 85m
9	Männlich	7	64d 65m

10	Weiblich	8	74d 75m
11	Männlich	6	84d 85m
12	Männlich	8	65m 74d 75m 85m 85d
13	Männlich	6	74d 75m
14	Männlich	7	65m
15	Männlich	7	54d 55m
16	Weiblich		64d 65m
17	Männlich	7	64d 65m
18	Weiblich	8	54d 55m 64d 65m 65d 75m
19	Weiblich	9	54d 55m
20	Männlich	8	54d 55m 64d 65m 74d 75m

21	Männlich	9	54d 55m 55d 64d 65m 65d 75m 75d 84d 85m 85d
22	Weiblich	8	55d 64m 64d 74m 74d 75m 75d 84d 85m
23	Weiblich	7	65d 74d 75m 75d 84d 85m 85d
24	Männlich	9	55m 85m
25	Weiblich	5	55m 64m 64d 65m 74d 75m 84m 84d 85m

Tabelle 6: Vergleich DIAGNOcam®- und Röntgenbilder

Rot: Untersucher 1

Violett: Untersucher 2

Grün: Untersucher 3

Patienten Nr.	Zahnfläche	Kariesgrade DIAGNOcam®-Bild	Kariesgrade Röntgenbild
1	64d	1 1 2	3 3 3
	65m	2 2 2	3 1 3
2	54d	0 0 2	2 3 3
	55m	0 0 2	2 2 3
	64d	0 0 0	0 0 0
	65m	2 0 2	1 0 0
	74d	0 0 2	2 1 0
	75m	0 0 0	0 0 0
	84d	0 0 0	3 2 3
	85m	0 0 0	1 0 1
3	84d	2 3 3	2 2 3
	85m	0 0 1	1 1 1
4	84d	0 0 0	3 3 3
	85m	0 0 0	0 0 0
5	74d	1 3 3	3 3 3
	75m	0 2 3	1 1 1
	84d	0 0 0	3 3 3
	85m	0 0 0	1 0 1
6	55m	2 2 3	3 3 3
	64d	0 0 0	0 0 0
	65m	2 2 0	0 0 0
	74d	0 0 1	3 2 3
	75m	0 0 0	1 1 2
	85m	2 3 3	3 3 3
7	85m	2 2 3	3 3 3
8	54d	2 2 3	3 3 3
	55m	2 3 3	3 1 3
	85m	3 3 3	3 3 3
9	64d	3 3 3	3 3 3
	65m	0 0 3	2 2 1
10	74d	1 0 3	2 3 3
	75m	0 0 0	1 0 1
11	84d	0 1 3	3 3 3
	85m	2 0 3	1 1 2
12	65m	2 3 3	1 0 0
	74d	2 3 3	1 0 0
	75m	0 0 1	0 0 0
	85m	2 1 3	1 1 3
	85d	2 2 2	2 0 2
13	74d	1 0 3	3 3 3
	75m	0 1 1	2 1 2
14	65m	2 0 0	0 0 0

15	54d	1 3 3	3 3 3
	55m	0 0 0	2 1 2
16	64d	0 0 2	3 3 3
	65m	0 0 3	2 0 0
17	64d	0 0 0	0 0 0
	65m	1 2 2	2 1 0
18	54d	0 0 0	3 2 2
	55m	2 2 3	3 2 3
	64d	0 0 0	3 3 3
	65m	0 1 2	2 2 3
	65d	0 0 0	0 0 0
	75m	2 2 2	3 1 3
19	54d	0 0 0	3 3 3
	55m	3 3 3	3 3 3
20	54d	3 3 3	3 3 3
	55m	3 3 3	3 3 3
	64d	3 3 3	3 3 3
	65m	2 3 3	3 3 3
	74d	0 0 0	2 1 1
	75m	3 2 3	2 2 2
21	54d	2 2 3	3 3 3
	55m	2 2 3	3 2 1
	55d	0 0 0	3 3 3
	64d	0 0 2	3 3 3
	65m	2 0 0	2 1 3
	65d	0 0 0	3 3 3
	75m	2 0 3	2 0 2
	75d	0 0 0	0 0 0
	84d	0 1 1	3 2 3
	85m	2 0 1	2 1 2
22	85d	0 0 0	1 0 0
	55d	2 0 3	0 0 0
	64m	0 0 0	0 0 0
	64d	0 2 2	1 2 2
	74m	0 0 0	0 0 0
	74d	0 0 3	0 0 1
	75m	1 0 1	0 0 0
	75d	0 0 0	0 0 0
	84d	0 0 1	0 0 0
	85m	0 0 0	0 0 0
23	65d	0 0 2	0 0 0
	74d	0 0 0	0 0 0
	75m	0 0 0	0 0 0
	75d	0 0 0	1 0 0
	84d	0 0 0	2 0 0
	85m	0 0 0	0 0 0
	85d	0 0 0	0 0 2
24	55m	2 2 2	3 3 3
	85m	2 3 3	3 3 3

25	55m	2 2 3	3 3 3
	64m	0 0 0	0 0 0
	64d	2 2 3	3 3 3
	65m	3 3 3	3 2 3
	74d	3 3 3	2 2 3
	75m	1 1 2	1 1 1
	84m	0 0 0	0 0 0
	84d	0 1 2	1 0 2
	85m	2 0 2	1 3 2

Tabelle 7: Kategorisierung der Karies-Läsionen durch die 3 Untersucher (U1, U2, U3) anhand von DIAGNOcam® (D) oder Röntgenbilder (R)

Läsion	DU1	DU2	DU3	RU1	RU2	RU3	D _{comb}	R _{comb}
0	59	60	36	27	40	33	33	29
1	8	10	8	17	16	10	19	14
2	29	16	18	19	14	13	22	15
3	9	19	38	39	32	45	26	43
Fehlend	0	0	5	3	3	4	5	4
Insgesamt	105	105	105	105	105	105	105	105

Tabelle 8: Übereinstimmung-Quertabellierung der 3 Untersucher (U1, U2, U3) anhand von DIAGNOcam®: DU1, DU2, DU3 resp. anhand von Röntgenbilder: RU1, RU2, RU3)

DU2						DU3						DU3					
DU1	0	1	2	3		DU1	0	1	2	3		DU2	0	1	2	3	
0	50	6	2	1	59	0	34	6	9	5	54	0	34	6	7	9	56
1	3	2	1	2	8	1	0	1	3	4	8	1	0	2	5	2	9
2	7	2	12	8	29	2	2	1	6	20	29	2	1	0	6	9	16
3	0	0	1	8	9	3	0	0	0	9	9	3	1	0	0	18	19
Insg.	60	10	16	19	105	Insg.	36	8	18	38	100	Insg.	36	8	18	38	100

RU2						RU3						RU3					
RU1	0	1	2	3		RU1	0	1	2	3		RU2	0	1	2	3	
0	27	0	0	0	27	0	24	1	1	0	26	0	31	4	4	0	39
1	9	6	1	1	17	1	5	6	5	1	17	1	2	4	5	5	16
2	4	7	6	2	19	2	4	2	6	7	19	2	0	2	3	9	14
3	0	3	7	29	39	3	0	1	1	37	39	3	0	0	1	31	32
Insg.	40	16	14	32	102	Insg.	33	10	13	45	101	Insg.	33	10	13	45	101

Tabelle 9: Übereinstimmung zwischen Untersucher für jede Methode

Diagnostik	Vergleich	Übereinstimmung	Erwartete Übereinstimmung	Kappa	95% KI	P
DIAGNOcam®	U1 vs U2	68,57%	38,59%	0,49	0,37-0,61	<0,001
DIAGNOcam®	U1 vs U3	50,00%	28,72%	0,30	0,19-0,41	<0,001
DIAGNOcam®	U2 vs U3	60,00%	30,98%	0,42	0,30-0,54	<0,001
Röntgenbilder	U1 vs U2	66,67%	27,55%	0,54	0,43-0,65	<0,001
Röntgenbilder	U1 vs U3	72,28%	29,70%	0,61	0,49-0,72	<0,001
Röntgenbilder	U2 vs U3	68,32%	30,09%	0,55	0,43-0,67	<0,001

KI: Konfidenzintervall

Tabelle 10: Übereinstimmung-Quertabellierung der beiden Methoden (DIAGNOcam® und Röntgenbilder) für jeden Untersucher separat und allgemein

RU1						RU2						RU3					
DU1	0	1	2	3		DU2	0	1	2	3		DU3	0	1	2	3	
0	23	10	10	13	56	0	35	7	5	11	58	0	20	4	4	8	36
1	1	1	2	4	8	1	1	3	2	3	9	1	3	1	2	2	8
2	3	6	5	15	29	2	2	4	4	6	16	2	4	1	4	9	18
3	0	0	2	7	9	3	2	2	3	12	19	3	5	4	3	26	38
	27	17	19	39	102		40	16	14	32	102		32	10	13	45	100

R _{comb}					
D _{comb}	0	1	2	3	
0	18	5	3	7	33
1	5	4	3	7	19
2	3	5	7	7	22
3	2	0	2	22	26
	28	14	15	43	100

Tabelle 11: Übereinstimmung der beiden Methoden (DIAGNOcam® und Röntgenbilder) für jeden Untersucher separat und allgemein

Vergleich	Untersucher	Übereinstimmung	Erwartete Übereinstimmung	Kappa	95% KI	P
Diagnocam vs Röntgenbild	U1	35,29%	24,51%	0,14	0,05-0,24	0,002
Diagnocam vs Röntgenbild	U2	52,94%	31,68%	0,31	0,20-0,43	<0,001
Diagnocam vs Röntgenbild	U3	51,00%	31,76%	0,28	0,16-0,41	<0,001
Diagnocam vs Röntgenbild	kombiniert	51,00%	26,38%	0,33	0,22-0,45	<0,001

KI: Konfidenzintervall

Tabelle 12: Subgruppen-Analyse der allgemeinen Übereinstimmung allen Untersucher zwischen den beiden Methoden (DIAGNOcam® und Röntgenbilder) anhand von Zahn-Charakteristika

Kategorie	Läsionen	Übereinstimmung	Erwartete Übereinstimmung	Kappa	95% KI	P
Insgesamt	100	51,00%	26,38%	0,33	0,22-0,45	<0,001
Oberkiefer	47	48,94%	30,74%	0,26	0,09-0,43	0,001
Unterkiefer	53	52,83%	25,63%	0,37	0,21-0,52	<0,001
Zweite Molar	59	49,15%	26,06%	0,31	0,16-0,46	<0,001
Erste Molar	41	53,66%	28,02%	0,36	0,19-0,53	<0,001
Distale Läsion	48	50,00%	26,78%	0,32	0,16-0,47	<0,001
Mesiale Läsion	52	51,92%	26,07%	0,35	0,19-0,51	<0,001

KI: Konfidenzintervall

Tabelle 13: Charakteristika der eingeschlossenen Läsionen

Faktor	Kategorie	N (%)
	Insgesamt	105 (100,0%)
Kiefer	Oberkiefer	54 (51,4%)
	Unterkiefer	51 (48,6%)
Mundseite	Rechte	47 (44,8%)
	Linke	58 (55,2%)
Zahntyp	Erste Milchmolar	43 (41,0%)
	Zweite Milchmolar	62 (59,1%)
Läsionsposition	Mesial	54 (51,4%)
	Distal	51 (48,6%)

Tabelle 14: Tabellarische Zusammenfassung einiger Verfahren zur Kariesdiagnostik

	Visuell- Taktile	Röntgenbild	Elektrische Widerstand- messung	FOTI/ DIFOTI	VistaProof®	DIAGNOdent®	DIAGNOcam®
Objektivität	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja	Ja	Nein
Speicherbare Resultate	Nein	Ja	Ja	Nein/ Ja	Ja	Ja	Ja
Speicherbares Bild	Kein	2-D-Bild Lateral- Ansicht	Kein	Kein/ Ja	2-D-Bild Okklusal- ansicht	Kein	2-D-Bild Okklusal- ansicht
Gesundheitliche Nebenwirkungen	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Diskomfort für Kinder	Wenig	Viel	Wenig	Wenig	Wenig	Wenig	Mässig
Für Diagnostik der okklusalen Karies geeignet	Ja	Mässig	Ja	Ja	Mässig	Ja	Ja
Für Diagnostik der bukkalen Karies geeignet	Ja	Mässig	Nein	Nein/ Ja	Ja	Ja	Mässig
Für Diagnostik der approximalen Karies geeignet	Mässig	Ja	Nein	Ja	Nein	Mässig	Mässig
Geeignet für Milchmolaren approximal	Mässig	Mässig	Nein	Ja	Nein	Mässig	Ja

11 Abbildungen

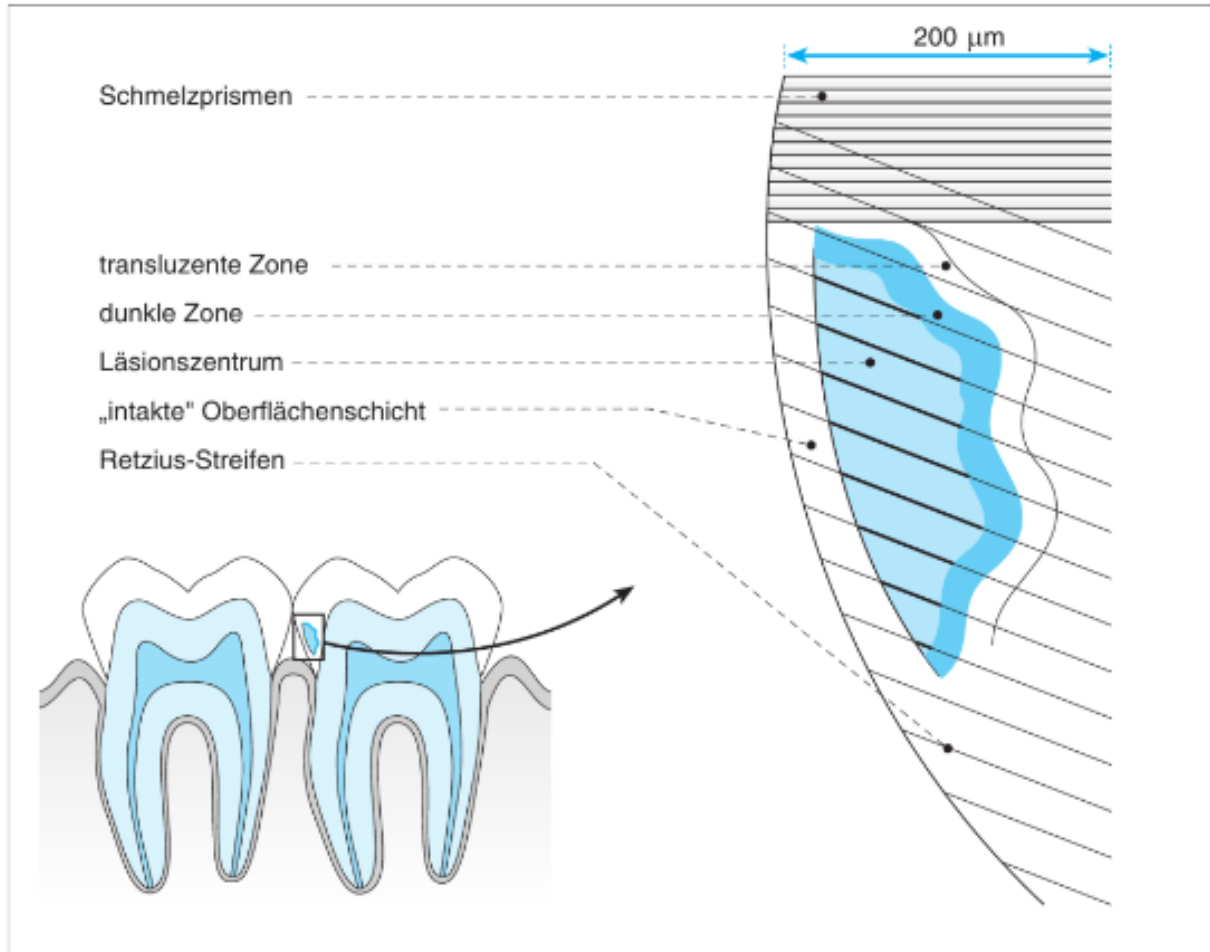


Abb. 1: Schematische Darstellung einer initialen kariösen Schmelzläsion.

Im polarisationsmikroskopischen Bild von Schmelzdünnschliffen erkennt man eine „intakte“ Oberflächenschicht, ein Läsionszentrum, eine dunkle Zone und eine transluzente Zone. Die Retzius-Streifen sind im Bereich des Läsionszentrums akzentuiert [HELLWIG et al. 2013].



Abb. 2: Kamera-Ansätze: Seite Ansicht.
Tip Small (oben) und Tip Large (unten) der DIAGNOcam®.



Abb. 3: Kamera-Ansätze: Frontsicht.
Tip Small (oben) und Tip Large (unten) der DIAGNOcam®.

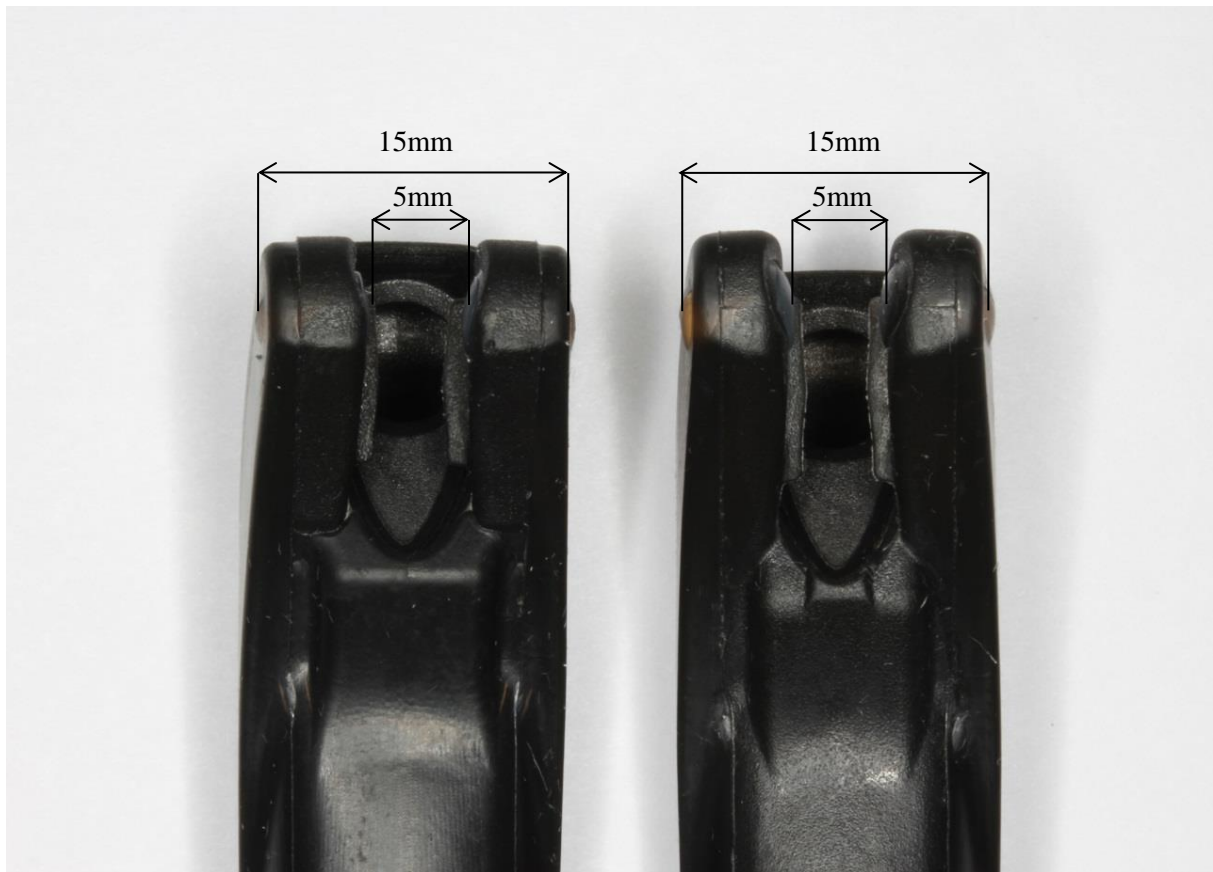


Abb. 4: Kamera-Ansätze: Detail der Laserleiter.
Tip Small (links) und Tip Large (rechts) der DIAGNOcam®.

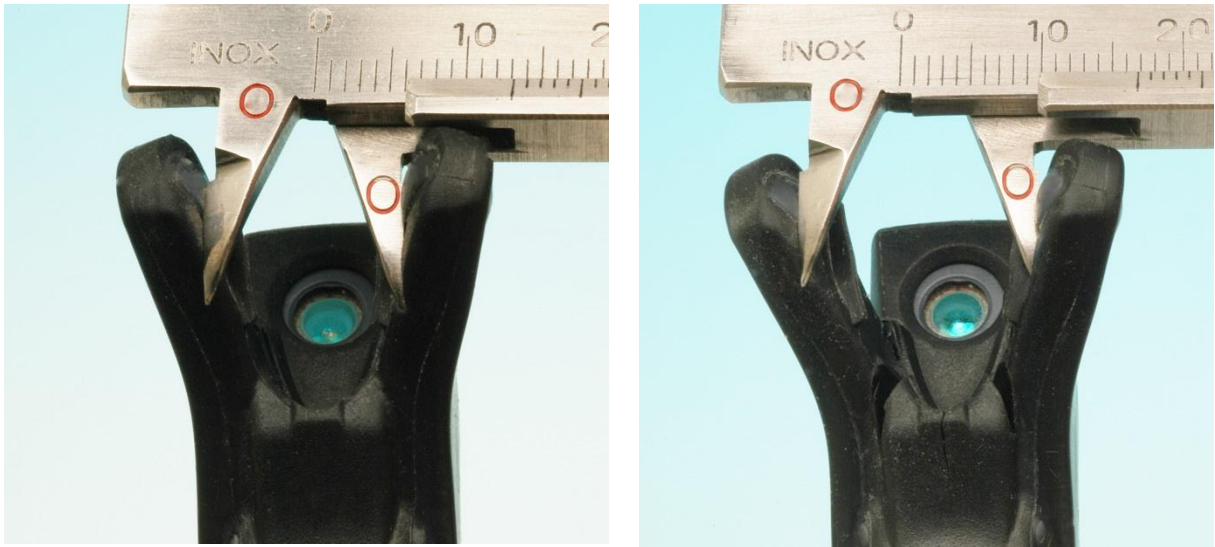


Abb. 5: Detail des Laserleiter des Tip Large der DIAGNOcam®. Maximale Spreizung der Lichtarme ohne und mit Modifikation.



Abb. 6: DIAGNOcam[®]-System, bestehend auf Laptop und DIAGNOcam[®]-Gerät.

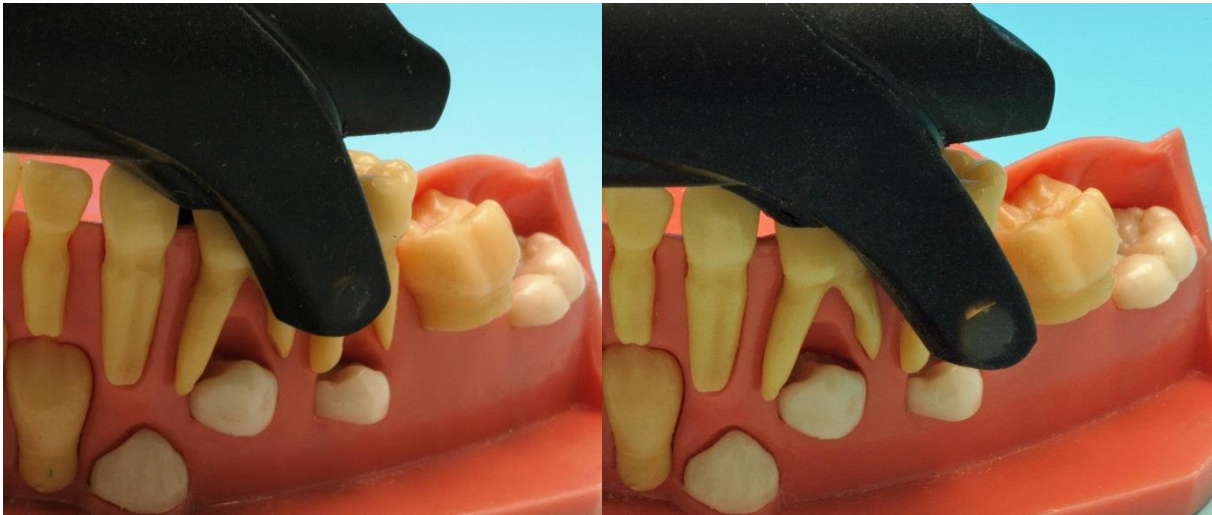


Abb. 7: Beispiel gleicher Zahn mit Tip Small und Tip Large.



Einschreiben
Universität Zürich
Zentrum für Zahnmedizin
Dr. med. dent. Hubertus van Waas
Plattenstrasse 11
8032 Zürich

Kanton Zürich
Kantonale Ethikkommission



Prof. Dr. med. Peter Meier-Abt
Präsident

Dr. med. Peter Kleist
Geschäftsführer
Stampfenbachstrasse 121
Postfach
8000 Zürich
Telefon +41 43 259 79 70
Fax +41 43 259 79 72
admin.kek@kek.zh.ch
www.kek.zh.ch

04. April 2017 // ktr

Beschlussmitteilung der Kantonalen Ethikkommission Zürich

Gesuch BASEC-Nr. 2017-00361

**Nutzen des DIAGNOcam®-Verfahrens zur Kariesdetektion und -diagnose
im Milchgebiss. Vergleich mit klinischen und radiologischen Methoden
Literaturübersicht und retrospektive Studie**

Gesuchsteller Dr. med. dent. Hubertus van Waas, ZZM

Zentren Dr. med. dent. Hubertus van Waas, ZZM

I. Verfahren

☐ ordentliches Verfahren ☐ vereinfachtes Verfahren ☒ präsidiales Verfahren

II. Entscheid

☒ **Die Bewilligung wird erteilt**

Bedeutet: Das Vorhaben gemäss bewilligtem Forschungsplan kann gestartet und im Rahmen der anwendbaren rechtlichen Bestimmungen durchgeführt werden.

Bewilligungen für **klinische Versuche der Kategorie B und C** stehen unter dem **Vorbehalt**, dass

1. allfällig durch die zuständige eidgenössische Zulassungsbehörde (Swissmedic/BAG) festgestellte Mängel keine Änderungen der von der Ethikkommission evaluierten Unterlagen erfordern, und dass
2. die Bewilligung der eidgenössischen Zulassungsbehörde (Swissmedic/BAG) vorliegt.

Ethik-Kommission Kanton Zürich, 26.04.2017

Abb. 8: Beschlussmitteilung der Kantonalen Ethikkommission Zürich

Verwendung von Patientendaten in Forschung und Lehre bzw. in Publikationen

<ul style="list-style-type: none"> • Meine Röntgenbilder, Fotos, Gipsmodelle, Befunde und gesundheitsbezogene Daten sowie allfällig im Verlauf der notwendigen zahnärztlichen Behandlung gezogene Zähne und/oder entnommene Proben dürfen für Lehrzwecke verwendet werden sowie für Publikationen und Forschung, sofern sie für Letztere anonymisiert sind oder verschlüsselt werden. – Im Falle einer verschlüsselten Weiterverwendung wird der Schlüssel gemäss den gesetzlichen Vorgaben der Humanforschungsverordnung verwaltet, indem der Schlüssel von einem Mitarbeiter, welcher nicht am Forschungsprojekt beteiligt ist, getrennt von Daten und Proben, geschützt aufbewahrt wird. Eine Re-Identifikation ist nur in definierten Ausnahmefällen erlaubt. Sie haben das Recht, über gesundheitsrelevante Resultate informiert zu werden, oder auch darauf zu verzichten. Das Einverständnis kann jederzeit und ohne Begründung schriftlich widerrufen werden. Im Falle einer anonymisierten Weiterverwendung können die Daten und Proben nicht mehr einer Person zugeordnet werden, d.h. Erkenntnisse betreffend Ihrer Gesundheit können Ihnen nicht mehr mitgeteilt werden. Auch das Widerrufsrecht entfällt, da keine Rückschlüsse auf die Person möglich sind. – Der Umgang mit gesundheitsbezogenen Patientendaten und Proben beschränkt sich auf Personen, welche diese Daten und Proben zur Erfüllung ihrer Aufgabe benötigen. Falls diese Personen verschlüsselte oder anonymisierte Daten und Proben zu Forschungszwecken weiterverwenden oder an Dritte weitergeben (z.B. im Rahmen einer Forschungszusammenarbeit mit anderen Universitätsinstituten), gelten diesbezüglich das Humanforschungsgesetz und die Humanforschungsverordnung (Ausnahme: Die Anonymisierung nicht genetischer Personendaten zwecks Weiterverwendung zu Forschungszwecken unterliegt dem Gesetz über die Information und den Datenschutz). Letzteres ist auch für die Weiterverwendung gesundheitsbezogener Daten und Proben zu Lehrzwecken massgebend. – Eine Verweigerung bzw. ein späterer Widerruf hat keine Konsequenzen auf die Behandlung. 		
<ul style="list-style-type: none"> • Ich bestätige, dass ich diese Informationen verstanden habe, allfällige Fragen beantwortet wurden und erkläre mich, nachdem mir eine angemessene Bedenkfrist eingeräumt wurde, mit der Weiterverwendung meiner Daten und Proben einverstanden. 	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
<ul style="list-style-type: none"> • Ich möchte über gesundheitsrelevante Resultate informiert werden, wenn diese zur Verhinderung, Feststellung und Behandlung bestehender oder künftig zu erwartender Krankheiten beitragen können. <i>(Bei anonymisierten Daten nicht möglich)</i> 	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
Ort, Datum, Unterschrift (Patient/gesetzlicher Vertreter – urteilsfähige Kinder bitte mitunterschreiben) <div style="border-top: 1px solid black; height: 20px; margin-top: 5px;"></div>		

Abb. 9: Einverständniserklärung für die Verwendung von Patientendaten in Forschung und Lehre beziehungsweise in Publikationen.

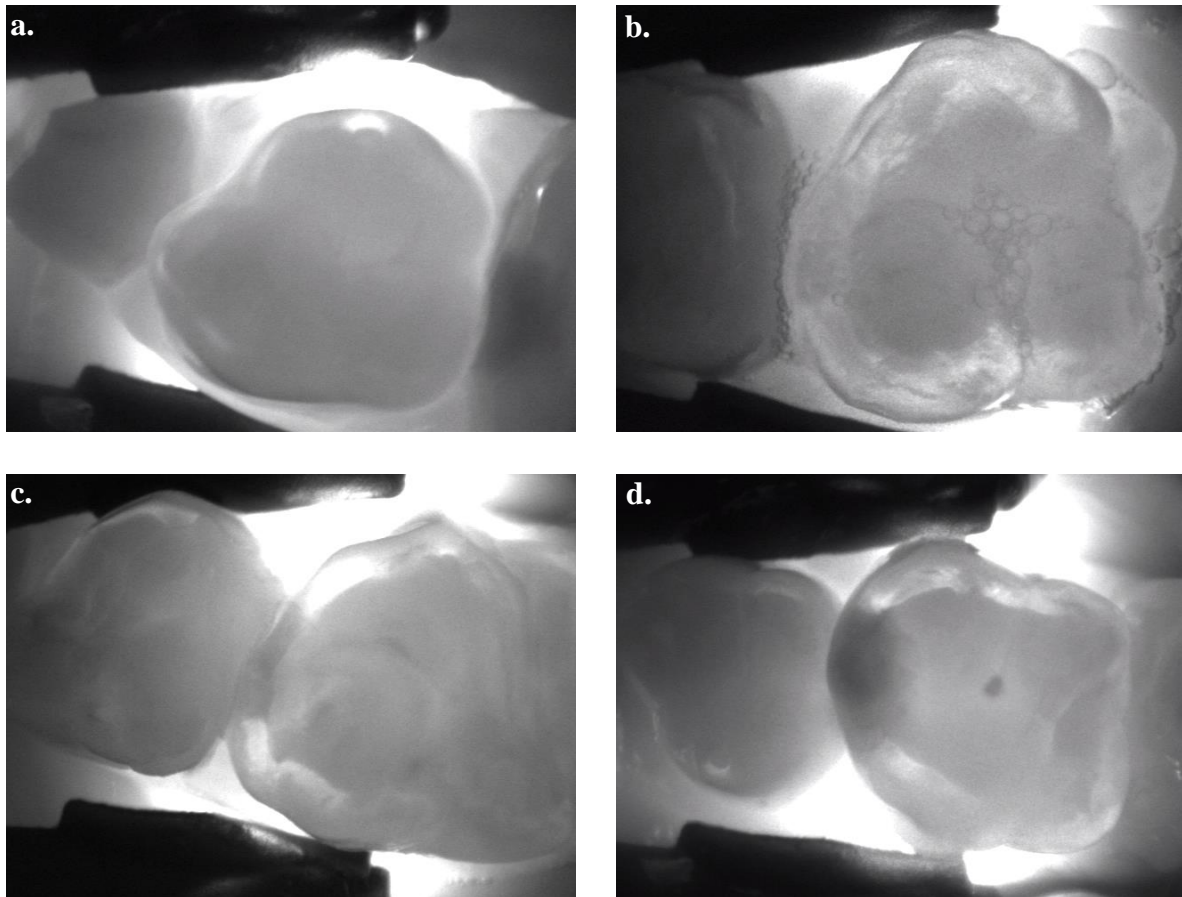


Abb. 10: Kariesgrade der DIAGNOcam[®]-Bilder im Milchgebiss.

a. keine Verschattung an der distalen oder mesialen Fläche vom 54 sichtbar (Bezeichnung mit 0). b. Verschattung der äussersten Hälfte des Schmelzes an der mesialen Fläche von 65 begrenzt (Gradbezeichnung 1). c. Verschattung bis zur innersten Hälfte des Schmelzes an der mesialen Fläche von 65 sichtbar (Gradbezeichnung 2). d. Verschattung bis ins Dentin an der mesialen Fläche von 55 (Gradbezeichnung 3).

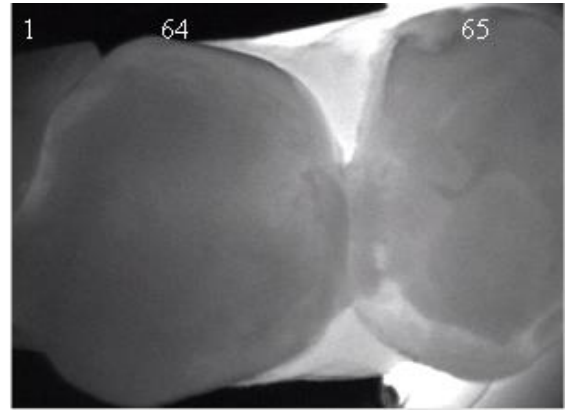
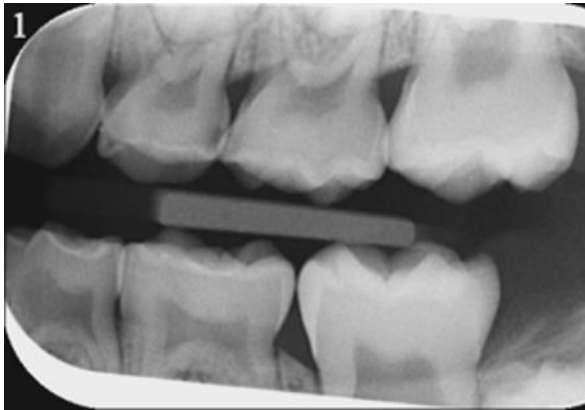


Abb. 11: Röntgenbild und DIAGNOcam®-Bild vom Patient Nummer 1.

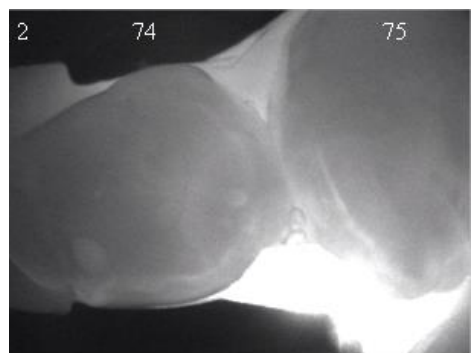
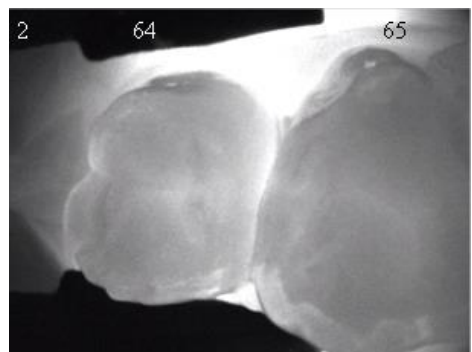
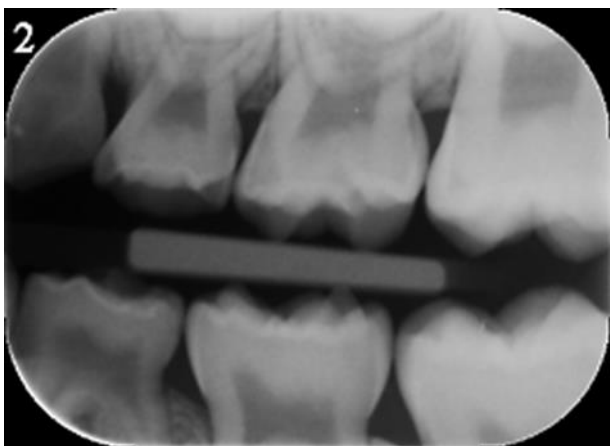
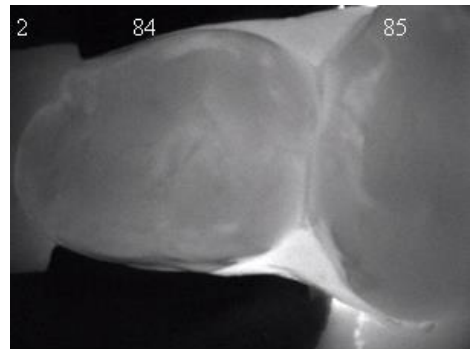
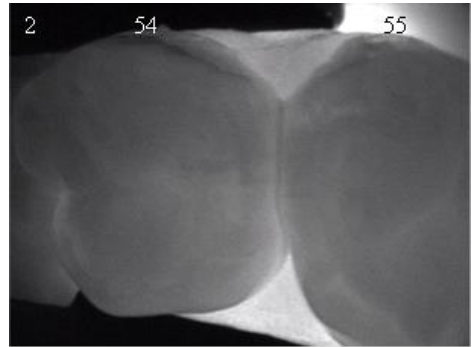
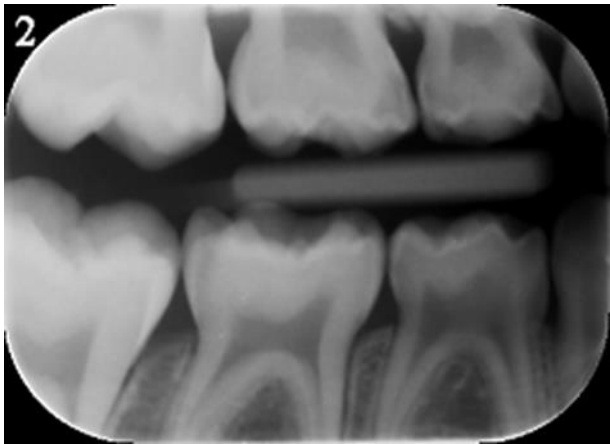


Abb. 12: Röntgenbild und DIAGNOcam®-Bild vom Patient Nummer 2.

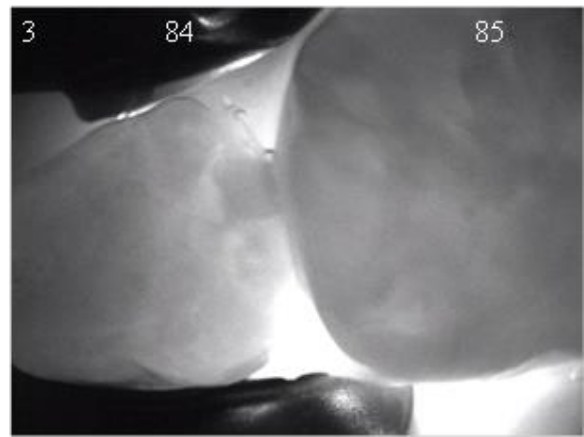
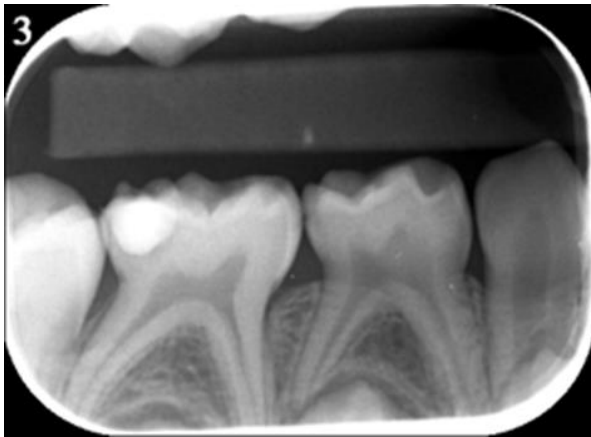


Abb. 13: Röntgenbild und DIAGNOcam®-Bild vom Patient Nummer 3.